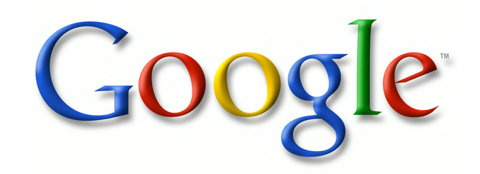


r. B. Donath

Die Einrichtungen zur Erzeugung der Röntgenstrahlen







DIE EINRICHTUNGEN ZUR ERZEUGUNG DER ROENTGENSTRAHLEN

VON

DR. B. DONATH,
VORSTAND DER PHYSIKALISCHEN ABTEILUNG DER URANIA
IN BERLIN

ZWEITE, VERBESSERTE UND VERMEHRTE AUFLAGE



Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

Vorwort zur zweiten Auflage.

Das nunmehr in neuer Auflage vorliegende Werkchen ist bei seinem ersten Erscheinen auch von den Fachleuten freundlich aufgenommen worden, obwohl es in erster Linie für den nichtfachmännischen Benutzer der Röntgenstrahlen-Einrichtung bestimmt war. Man hat sich namentlich mit der in ihm durchgeführten ständigen Verquickung von Theorie und Praxis einverstanden erklärt. In diesem Punkte ist nichts geändert worden. Auch in der zweiten Auflage ist dem Wie stets das Warum zur Seite gestellt.

Im besonderen haben aber die einzelnen Abschnitte sowohl eine umfassende Durcharbeitung wie Erweiterung erfahren. Den einleitenden physikalischen Betrachtungen sowie dem Kapitel über die Stromquellen wurden praktische Beispiele hinzugefügt. Der Abschnitt über die Unterbrecher erhielt eine allgemeine kritische Einleitung und wurde systematisch strenger gestaltet. Die Vakuumröhren und Apparatschaltungen konnten, ebenso wie die Beispiele zur praktischen Durchführung von Durchleuchtungen und Aufnahmen, eingehender abgehandelt werden. Insbesondere gilt dies auch für die Meßmethoden.

Der dem Buche als Anhang beigegebene letzte Abschnitt behandelt die Röntgenstrahlen in wissenschaftlicher Beziehung. Auswahl und Anordnung des Stoffes wurden wiederum mit Rücksicht auf eine möglichst gemeinverständliche Darstellung getroffen. Die kurze Darlegung über die radioaktiven Stoffe dürfte vielen Lesern als Beigabe willkommen sein.

Den Herren Fachgenossen, welche mich vielfach durch wertvolle Hinweise und Berichtigungen bei der Neubearbeitung unterstützt haben, sage ich hierdurch meinen verbindlichsten Dank; ebenso den Herren Reuther & Reichard für die gediegene und saubere Ausstattung des Büchleins.

Berlin, im Oktober 1903.

Dr. B. Donath.

Inhaltsverzeichnis.



I. Abschnitt.

Einleitung und Veranschaulichung einiger physikalischer Grundbegriffe.

A. Elektromotorische Kraft, Stromstärke und Widerstand.

Will der Besitzer einer Röntgenstrahlen-Einrichtung sich vom toten Schema einer doch nicht für alle Fälle ausreichenden Gebrauchsanweisung frei machen, will er vom Fabrikanten unabhängig werden und sich zugleich die Freude und den Vorteil sinngemäßer Ausübung seiner Arbeiten sichern, so wird er sich wohl oder übel, bevor er eine Einrichtung kauft, jedenfalls aber bevor er sie in Betrieb nimmt, mit einigen physikalischen Grundbegriffen vertraut machen müssen. Sie sind, soweit sie sich auf die rein praktische Seite der Röntgentechnik beziehen, leicht zu erwerben und werden sicher jedem Leser bald in Fleisch und Blut übergehen, wenn er sich nur entschließt, das erste Kapitel dieses Buches nicht zu überschlagen, sondern mit voller Aufmerksamkeit, dies und jenes vielleicht an kurzen Zahlenbeispielen übend, durchzulesen.

Die Zusammensetzung einer Röntgenstrahlen-Einrichtung ist der Hauptsache nach folgende. Die Röntgenstrahlen verdanken ihre Existenz elektrischen Entladungen; es bedarf daher zunächst einer Vorrichtung, um die elektrische Energie in die Energie der Röntgenstrahlung umzusetzen. Derartige Vorrichtungen findet man in den sogen. Röntgenröhren. Es könnten in der Tat eine Stromquelle und eine Röntgenröhre die einzigen Hauptbestandteile einer Anlage sein, wenn nicht die Röhre zu ihrem Betriebe eines besonders hochgespannten elektrischen Stromes bedürfte, wie ihn weder Batterien noch Elektrizitätswerke liefern. So wird eine Umwandlung des elektrischen Stromes von großer Stärke und niedriger Spannung auf eine hohe Spannung und entsprechend geringere Stärke notwendig, die von den Transformatoren — auch Funkeninduktoren genannt — besorgt wird.

Eine Röntgenstrahlen-Einrichtung besteht mithin aus folgenden drei Hauptteilen:

I. Aus der Stromquelle (Fig. 1),
II. dem Transformator (Funkeninduktor), welcher die von der Stromquelle gelieferte elektrische Energie in eine für die Röntgenröhre passende Form bringt, und
III. der Röntgenröhre selbst, in welcher die elektrische Energie in Röntgenstrahlen umgesetzt wird.

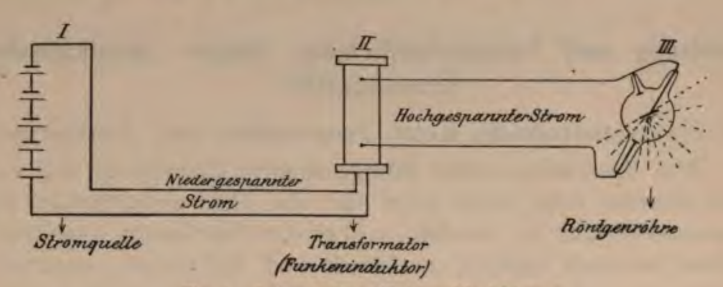


Fig. 1. Schema einer Röntgen-Einrichtung.

Um diese wesentlichen Glieder scharen sich noch eine Anzahl von Nebenapparaten, die teils zur Kontrolle der Hauptinstrumente oder der Bequemlichkeit dienen, teils auch dazu bestimmt sind, die Wirkung der unsichtbaren Röntgenstrahlen den Sinnen zu übermitteln. Hieraus ergibt sich zwanglos die Einteilung des in dem Buche gebotenen Stoffes. Wir werden zunächst, nach einer kurzen Orientierung des Lesers über einige für das Verständnis alles Folgenden notwendige Grundbegriffe, Wesen und Behandlung der Hauptapparate besprechen, darauf ihre Zusammenschaltung unter sich sowie mit ihren Nebenapparaten und zuletzt ihre praktische Anwendung. Der zweite Teil des Buches ist den elementarsten Beobachtungsmethoden sowie dem Interesse gewidmet, welches die Röntgenstrahlen in wissenschaftlicher Beziehung beanspruchen dürfen.

In dem Bestreben, die Gesetze des elektrischen Stromes zu veranschaulichen, ist man zu Bezeichnungen und Vorstellungen gelangt, die sich bei Betrachtung des fließenden Wassers von selbst aufdrängen. Man spricht von einem elektrischen Potentialgefälle, wie vom Gefälle eines Wasserfalles, von einer elektrischen Stromstärke, wie von der Stromstärke eines Flusses, ohne damit jedoch zugeben zu wollen, daß die Bezeichnungen sich ganz deckten und daß die

Ursachen beider Erscheinungsgruppen dieselben seien. Die Bewegung elektrischer Energie in einem Leiter hat mit dem Transport ponderabler Materie nichts zu tun. Da jedoch die Gesetze der Hydraulik, soweit sie hier betrachtet werden, zahlenmäßig mit denen der elektrischen Erscheinungen auffallend gut übereinstimmen, möge zunächst an sie erinnert werden.

Zwar lassen sich die Gesetze des elektrischen Stromes an jedem Gewässer mit Erfolg erörtern, sofern ihm nur eine Niveaudifferenz Bewegung verleiht, vorteilhafter ist jedoch die Betrachtung des in einer kreisförmig geschlossenen Rohrleitung zirkulierenden Wassers, weil der elektrische Strom ebenfalls an die Existenz eines in sich geschlossenen Leiters gebunden ist und sich so der Begriff des „Stromkreises" von selbst ergibt.

Eine bestimmte, in einem ringförmig geschlossenen Rohre enthaltene Wassermenge ruht so lange nutzlos, unfähig eine Arbeit zu leisten, als nicht irgend eine Kraft das Wasser in Bewegung und Umlauf bringt. Der Leser wolle sich vorstellen, daß diese Leistung von einer Turbine (Flügelschraube) ausgeht, die irgendwie von außen her in Rotation versetzt, die Flüssigkeit in der Richtung der Pfeile (Fig. 2) durch das Rohr forttreibt und so zugleich auch als Quelle des entstehenden Stromes angesehen werden kann.

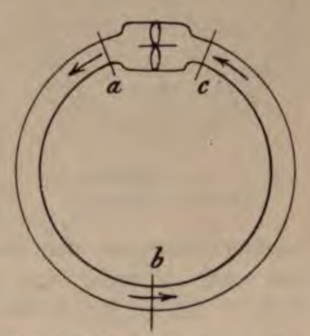


Fig. 2. Kreisender Wasserstrom.

Legt man sich die Frage vor, von welchen Faktoren die Menge des Wassers (die Stromstärke) abhängt, die in der Zeiteinheit die Kreisleitung durchfließt, so wird man sagen müssen, daß sie jedenfalls mit der motorischen Kraft der Turbine zusammenhängt und mit ihr wachsen wird. Sie wird zum Beispiel doppelt so groß sein, wenn die Turbine sich doppelt so schnell dreht. Ebenso leicht kann man verstehen, daß die Stärke des Stromes von dem Widerstand abhängt, welchen er in dem Rohre (durch Reibung an den Wänden und in sich) findet und daß, gleiche motorische Kraft der Stromquelle (der Turbine) vorausgesetzt, die Stromstärke um das Doppelte abnehmen wird, wenn der Widerstand um das Doppelte zunimmt. Mit kurzen Worten: Die Stromstärke wird proportional sein der motorischen Kraft der Turbine und umgekehrt proportional dem Leitungswiderstande.

Hieraus ergibt sich ohne weiteres auch, daß in einer Leitung

von doppelt erhöhtem Widerstande die frühere Stromstärke nur durch eine Turbine von doppelt so hoher motorischer Kraft oder von zwei Turbinen von gleicher motorischer Kraft in Hintereinanderschaltung hervorgebracht werden kann (Fig. 3). Wir setzen hierbei voraus, daß zwischen dem Anfangs- und Endpunkt der Leitung (*a* und *c*) durch die Arbeit der Turbine eine Druckdifferenz zu stande kommt, denn ohne eine solche kann man sich unmöglich die Entstehung des Wasserstromes vorstellen. Diese Druckdifferenz wird um so größer sein, je größer die motorische Kraft der Turbine, oder beider Turbinen, ist, da offenbar bei *A* das Wasser den vollen Druck der Turbine erfährt, während dieser bei *C* auf den Betrag Null gesunken ist. Hier nämlich geht der Druck ganz in ein Ansaugen über. Dies gilt jedoch nur für die der Turbine eng benachbarten Punkte innerhalb des Turbinengehäuses; betrachtet man dagegen einen Punkt der Leitung, etwa *a*, so leuchtet sofort ein, daß die Spannung (der Druck) hier um so höher sein wird, je mehr sich das Wasser in der Leitung stauen muß, d. h. je höher ihr Widerstand ist. Die Spannungsdifferenz rechts und links in den, dem Turbinengehäuse unmittelbar benachbarten, Leitungsteilen wird dann zu ihrem größten Betrag ansteigen, wenn der Leitungswiderstand unendlich groß ist. Dieser extremste Fall tritt ein, wenn die Leitung, z. B. bei *a* und *c*, verstopft wird (Fig. 4). Die Turbine hört in dem Moment auf zu arbeiten, wo das bei *a* angespannte und von dort wieder zurückgestaute Wasser der Kraft der Turbine die Wage hält. Die Spannung bei *a*, bezgl. die Spannungsdifferenz zwischen *a* und *c* ist dann ein direktes Maß für die motorische Kraft und ihr in diesem Falle, wo der Turbine kein Strom entnommen wird, gleich, in allen anderen Fällen proportional. In dem Augenblick, wo der Strom, wenn auch durch ein noch so dünnes Rohr (durch einen noch so hohen Widerstand) geschlossen wird, beginnt die Turbine wiederum Energie an das Wasser abzugeben und zwar um so mehr, je geringer der Widerstand wird. Daraus folgt, daß die Energie oder Arbeitsleistung des Wasserstromes, welche ja an irgend einer Stelle

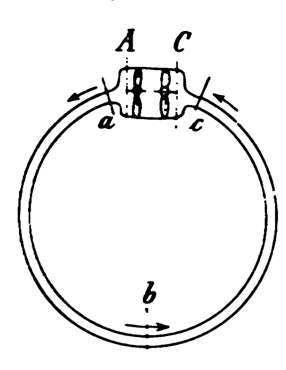


Fig. 3. Zum Verständnis des Ohmschen Gesetzes.

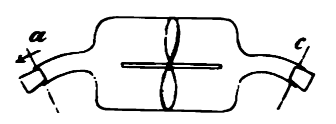


Fig. 4. Unterbrochene Leitung.

ausgenutzt werden kann, etwa indem sie eine zweite Turbine treibt, welche nach außen Arbeit abgibt, steigt mit der Spannung in der Leitung und ebenso mit der Strommenge. Die Arbeitsleistung ist also gleich dem Produkt aus der Spannung (genauer der Spannungsdifferenz zwischen dem Anfangs- und Endpunkt der Leitung) und der Stromstärke.

Dehnt man die Untersuchung auch auf den Fall aus, daß der Widerstand der äußeren Leitung sehr gering, mit anderen Worten, daß ihr Querschnitt sehr groß wird (Fig. 5), so bemerkt man, daß die zu bewegenden Wassermassen im Vergleich zur motorischen Kraft sehr groß werden und daß der Widerstand in der äußeren Leitung gegen den im Turbinengehäuse selbst immer mehr zurücktritt. Die Stromstärke wird also wesentlich nur von letzterem abhängen, während der erstere seinen Einfluß immer mehr einbüßt. Man hat also den „inneren Widerstand" (der Stromquelle selbst) von dem „äußeren Widerstand" (dem der Leitung) zu unterscheiden und muß nach dem Vorhergesagten zu dem Schluß kommen, daß die Leistung der Turbine in Bezug auf den Stromkreis am besten ausgenutzt wird, wenn der innere Widerstand dem äußeren gleich ist.

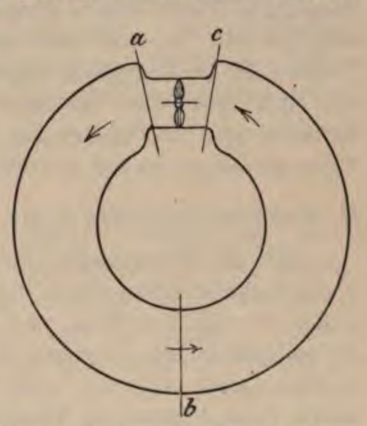


Fig. 5. Zur Veranschaulichung des „inneren Widerstandes".

Sobald von der, durch eine äußere Kraft angetriebenen, Turbine keine Leistung verlangt wird, d. h. wenn man die Leitung unterbricht und verstopft, steht sie still, sie wird um so mehr in Anspruch genommen, je höher die geforderte Leistung ist und langt an der Grenze ihrer Leistungsfähigkeit an, wenn die im Strom entnommene Arbeitsleistung gleich der aufgewendeten ist. Dies ist bei den angegebenen Widerstandsverhältnissen der Fall. Immer erfordert das Zustandekommen eines Stromes das Vorhandensein einer motorischen Kraft und einer Arbeitsleistung, gleichgültig, ob diese durch eine von außen angetriebene Turbine oder etwa durch die Anziehungskraft der Erde (Gewicht des Wassers) dargestellt wird, gleichgültig auch, ob der Strom ein Wasserstrom, Luftstrom oder elektrischer Strom ist.

In den elektrischen Stromquellen wird die motorische Kraft (dort im besonderen elektromotorische Kraft genannt) ebenfalls

durch einen Arbeitsaufwand hervorgerufen, sei derselbe nun mechanischer Natur, wie bei der Stromlieferung durch Dynamomaschinen, oder chemischer Natur, wie etwa bei den Elementen. Keinesfalls entsteht die elektrische Energie aus sich selbst, sondern ist stets das Umwandlungsprodukt einer anderen Energieform. Jedes elektrische Strömen, das ja stets eine Arbeitsleistung repräsentiert, ist mithin in diesem Punkt mit dem Strömen des Wassers zu vergleichen, das ebenfalls nur unter dem Einfluß einer aufgewendeten Arbeitsleistung (Bewegung durch eine Turbine, den Wind, durch Wärmeeinflüsse) möglich ist. Die von einer äußeren motorischen Kraft angetriebene Turbine in dem oben durchgeführten Beispiel ist also ohne weiteres mit einer elektrischen Stromquelle vergleichbar. Für die folgenden Betrachtungen rein elektrischer Art sollen als Stromquelle galvanische Elemente angenommen werden.

B. Elektromotorische Kraft, Widerstand und Stromintensität.

Wie der Wasserstrom durch den Querschnitt der Röhre, so tritt der elektrische Strom durch den Querschnitt des Drahtleiters. Dieser Leiter ist für ihn Weg und Hindernis zugleich. Um aus den hydrodynamischen Gesetzen diejenigen des elektrischen Stromes abzuleiten, wolle sich der Leser in unserem Beispiel die Rohrleitung durch einen kreisförmig geschlossenen Draht und die Turbine durch ein galvanisches Element ersetzt denken. Letzteres bestehe in einfachster Form aus einem mit verdünnter Schwefelsäure gefüllten Gefäß, in dem sich, ohne sich aber zu berühren, eine Kupfer- und eine Zinkplatte befinden (Fig. 6).

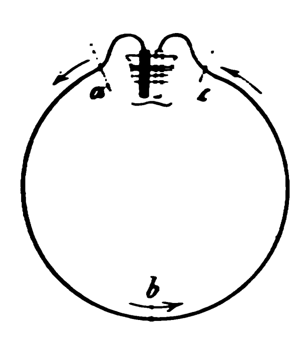


Fig. 6. Elektrischer Stromkreis.

Durch den Energieaufwand, der durch die Einwirkung der Säure auf die Metalle dargestellt ist, wird zwischen letzteren eine „elektromotorische Kraft“ wachgerufen, die den elektrischen Strom erzeugt und ihn in der Richtung der Pfeile in dem Drahtleiter zum Umlauf bringt. Ihre Größe hängt ab von der Beschaffenheit der Metalle (der „Elektroden“) und der Flüssigkeit (des „Elektrolyten“).

Je größer die „elektromotorische Kraft“ der Stromquelle ist, desto größer ist auch die Stromstärke, welche in dem Leiter zustande kommt. Je länger und je dünner der Leiter ist, d. h. je

mehr Widerstand er dem Strome bietet, desto kleiner ist die Stromintensität, welche von der elektromotorischen Kraft durch den Leiter geschickt wird. Die Stromintensität oder Stärke ist also direkt proportional der elektromotorischen Kraft und umgekehrt proportional dem Widerstande des Stromkreises. In diesem einfachen und so lange vergeblich gesuchten Gesetz konnte Ohm (1826) die drei Fundamentalgrößen Stromstärke, elektromotorische Kraft und Gesamtwiderstand zusammenfassen. Schreibt man dieses Ohmsche Gesetz in mathematischer Form, so lautet es, indem die Stromstärke (Intensität) mit J, die elektromotorische Kraft mit E und der Gesamtwiderstand (d. h. der innere Widerstand der Stromquelle und der äußere des Stromkreises) mit W bezeichnet wird:

$$J = \frac{E}{W}.$$

Es möge, um ein Beispiel zu bilden, in einem Fall, durch irgend eine Maßeinheit ausgedrückt, die Stromquelle die elektromotorische Kraft 2 und die Leitung ebenfalls den Widerstand 2 haben, so kommt offenbar ein Strom von der Stärke 1 zustande ($1 = {}^2/_2$). Wächst der Widerstand auf den doppelten Betrag (4) bei unveränderter elektromotorischer Kraft, so sinkt die Stromstärke auf den Wert $^1/_2$ (denn $^1/_2 = {}^2/_4$). Soll unter den neuen Widerstandsverhältnissen die frühere Stromstärke 1 wieder zustande kommen, so muß die elektromotorische Kraft auf ihren doppelten Wert erhöht werden (4). Man erhält dann in der Tat wieder die Stromstärke 1 (denn $1 = {}^4/_4$). Ins Praktische übertragen heißt das, man muß bei einem doppelt so großen Widerstande, um die frühere Stromstärke hervorzurufen, nicht eine Stromquelle (Element) von der elektromotorischen Kraft 2 anwenden, sondern zwei derselben (Fig. 7).



Fig. 7. Zum Verständnis des Ohmschen Gesetzes.

Der Widerstand eines Leitungskreises hängt zunächst ab von der Länge des Leiters und seinem Querschnitt, und zwar nimmt er zu mit wachsender Länge und ab mit wachsendem Querschnitt des Leiters. Es ist also

$$W = \frac{l}{Q} \cdot k.$$

k ist eine der Formel angehängte Zahl, die vom Material des Leiters abhängig ist. Der Widerstand wird nämlich wesentlich auch durch den Stoff des Leiters beeinflußt. Es kommt dem Leiter mithin noch ein „spezifischer" Widerstand zu, der von den Dimensionen unabhängig ist. Glas z. B. leitet den Strom fast gar nicht, sein Widerstand ist praktisch unendlich groß, die Leitungsfähigkeit gleich Null. Denn Leitungsfähigkeit und Widerstand stehen zueinander offenbar in reziprokem Verhältnis. Kupfer und Silber sind hingegen vorzügliche Leiter, d. h. ihr Widerstand ist sehr gering. Setzt man die „spezifische" Leitungsfähigkeit des Quecksilbers = 1, so ergeben sich für die bekannteren zu Stromleitungszwecken oft verwendeten Materialien folgende Verhältniszahlen:

	Leitfähigkeit	Widerstand
Quecksilber . . .	1	1
Neusilber . . .	4	$^1/_4$
Blei	5	$^1/_5$
Eisen	8	$^1/_8$
Platin	8	$^1/_8$
Messing	13	$^1/_{13}$
Kupfer	55	$^1/_{55}$
Silber . . .	64	$^1/_{64}$

(Der Leser findet eine für den Gebrauch bestimmte Widerstandstabelle, welche die Widerstände einiger Materialien im elektrotechnischen Einheitsmaß gibt, auf S. 11.)

Der „spezifische" Leitungswiderstand für Eisen ist etwa 7 mal so groß als für Kupfer; man müßte mithin, um in einem Eisendraht dieselbe Stromstärke wie in einem gleich dimensionierten Kupferdraht hervorzubringen, eine 7 mal größere elektromotorische Kraft anwenden, oder den Querschnitt des Eisendrahtes bei gleicher elektromotorischer Kraft um das Siebenfache vergrößern.

Körper mit dem praktischen Leitungsvermögen Null werden Nichtleiter der Elektrizität oder Isolatoren genannt.

Die Analogie mit einem Wasserstrome läßt sich in der Tat recht weit durchführen. Auch die Existenz des elektrischen Stromes ist an eine Spannungsdifferenz gebunden, die an den Enden des Kreisleiters zu beiden Seiten der Stromquelle herrscht. Diese Spannungsdifferenz wird wieder ein Maximum, wenn die Leitung unterbrochen und die Stromquelle (das Element) „offen" ist (Fig. 8). Dann ist die „elektromotorische Kraft" gleich der Spannungsdifferenz

an den Polen (Klemmen) des Elementes oder kurz gleich der „Klemmenspannung". Aber während die elektromotorische Kraft eine konstante Größe bleibt, ist die Klemmenspannung variabel, denn sie sinkt sofort, wenn dem Element Strom entnommen wird. Spricht man daher von der Klemmenspannung einer Stromquelle, so darf man darunter gleichzeitig die elektromotorische Kraft nur bedingungsweise verstehen.

Ist die Leitungsfähigkeit des Stromkreises sehr groß (der Widerstand sehr klein), so wird die Stromintensität in der Hauptsache nur noch vom inneren Widerstand der Stromquelle abhängen, welcher kleiner wird mit der Leitungsfähigkeit des Elektrolyts (der Flüssigkeit) und wächst mit der Entfernung der Metallplatten (der Elektroden) voneinander. Wiederum wird, wie bei dem Wasserstrome (Seite 5), der Effekt der Stromquelle am größten, wenn der innere Widerstand (der Stromquelle) dem äußeren Widerstand (der Leitung) gleich ist.

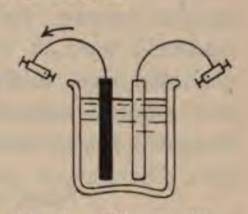


Fig. 8. „Offenes" elektrisches Element.

Wird der äußere Widerstand geringer als der innere, so ist die Stromquelle kurz geschlossen und daher gezwungen, sich über ihre Kräfte anzustrengen. In der Praxis faßt man den Begriff des „Kurzschlusses" noch weiter und versteht unter ihm jede Stromentnahme, welche nach Dauer und Stärke eine bleibende Schädigung an Stromquelle oder Leitung hervorzurufen vermag.

Aus Gründen, welche hier unerörtert bleiben können, hat man den einen Pol der Stromquelle den positiven (+), und den anderen den negativen (—) genannt. Bei den Elementen hängt diese Polarität ab von der Art der Metalle, welche sich gegenüberstehen. Im Falle der Fig. 8 ist das Kupfer die positive Elektrode (die Anode) und das Zink die negative (die Kathode). Man ist ferner darin übereingekommen, die Richtung des Stromes innerhalb der Stromquelle als von der Kathode zur Anode gehend zu betrachten; der Strom tritt also am positiven Pole der Stromquelle aus und geht durch die äussere Leitung zum negativen Pole zurück.

C. Die praktischen elektrischen Maßeinheiten.

Als Einheit für die Stromstärke (Intensität) hat man diejenige genommen, welche in einer Minute eine bestimmte chemische Arbeit liefert. Diese, den Stromstärkemessungen zu Grunde gelegte Einheit, nennt man 1 Ampère (zu Ehren des Physikers Ampère).

Der **Widerstand**, welchen ein nicht näher zu beschreibender Leiter von bestimmten Dimensionen und bestimmter Qualität dem Strome entgegensetzt, bildet die Einheitsgrundlage für die Widerstandsbestimmung und wird 1 **Ohm** genannt (zum Gedächtnis G. S. Ohms).

Die **elektromotorische Kraft** endlich, welche in einem Leiter vom Widerstande 1 Ohm, die Stromstärke 1 Ampère hervorzubringen vermag, heißt 1 **Volt** (nach Volta). Auch die Klemmenspannung wird in Volt gemessen.

Man kann mithin das Ohmsche Gesetz für irgend einen Teil der Leitung, welcher die Stromquelle nicht enthält, in praktischen Einheiten folgendermaßen schreiben:

$$\text{Ampère} = \frac{\text{Volt}}{\text{Ohm}} \text{ oder kurz } A = \frac{V}{\Omega}.$$

Herrscht z. B. an den Hausanschlußklemmen, welche mit einer entfernten Stromquelle (einer elektrischen Zentrale) in Verbindung stehen, eine Spannung (oder richtiger: eine Spannungsdifferenz) von 100 Volt und wird an die Klemmen ein Leitungskreis vom Widerstande 20 Ohm angeschaltet, so kann man sofort sagen, daß in der Leitung eine Stromstärke von $\frac{100}{20} = 5$ Ampère zustande kommen wird.

Für die Röntgenpraxis erübrigt sich die Aufstellung einer Tabelle, welche die elektromotorischen Kräfte bekannter galvanischer Elemente enthält. Die Verwendung von Elementen ist ernstlich nicht anzuraten und läuft nur auf eine unnütze Spielerei hinaus. Über das Tauchelement, das allenfalls noch in Frage kommen kann, und über den Akkumulator ist an den betreffenden Stellen alles Nötige mitgeteilt.

Von nicht zu unterschätzendem Nutzen ist dagegen eine Widerstandstabelle, aus der ohne weiteres zu ersehen ist, welcher Widerstand den gebräuchlichsten Leitungsmaterialien bezogen auf 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt zukommt. Die mitgeteilten Zahlen stellen den „spezifischen" Widerstand dar und sind für Umrechnungen auf andere Längen und Querschnitte einfach an Stelle der Größe k in die Widerstandsformel Seite 7 einzusetzen. (Die Längen werden dabei in Metern, die Querschnitte in Quadratmillimetern ausgedrückt; siehe auch die Übungsbeispiele am Schluß des Kapitels.)

Widerstand gemessen in Ohm für 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt.

	k
Aluminium . . .	0,029
Eisen	0,097
Kupfer	0,018
Platin	0,090
Quecksilber . . .	0,940.

Da zur Erzeugung eines elektrischen Stromes ein Arbeitsaufwand gehört, wird andererseits ein den Leitungswiderstand überwindender Strom eine Arbeitsleistung darstellen, gleichgültig, in welcher Form dieselbe sichtbar wird, sei es als mechanische oder chemische Arbeit, oder etwa als Wärmeabgabe.

Diese elektrische Arbeitsleistung hängt ebenso von der Stromstärke wie von der Spannung ab und ist gleich dem Produkt beider. Man mißt mithin die elektrische Energie in Volt-Ampère oder Watt. Vermag z. B. eine Leitung einer Stromstärke von 8 Ampère bei einer Spannung von 100 Volt zu liefern, so steht eine Energie zur Verfügung, welche im Bedarfsfalle bis zu 800 Watt leistet. Ein mit dieser Energie betriebener Elektromotor hat ungefähr eine Pferdekraft. Läuft er 2 Stunden, so hat er 800 Watt 2 Stunden lang oder 2 mal 800 = 1600 Wattstunden verbraucht. Mithin wird der Verbrauch elektrischer Energie nach Wattstunden gezählt und berechnet.

D. Verschiedene Schaltungsarten der Stromquellen.

Die vorangegangenen einfachen Ausführungen, welche im wesentlichen nichts anderes sind als die Verallgemeinerungen des Ohmschen Gesetzes, werden für alle in der Röntgenpraxis vorkommenden Fälle genügen. In folgendem sollen daher nur noch einige Angaben über die günstigste Schaltung der Stromquellen gemacht werden.

Stehen z. B. 6 Akkumulatorzellen mit der elektromotorischen Kraft von je 2 Volt und einer Stromabgabefähigkeit von je 3 Ampère zur Verfügung, so können dieselben auf zwei verschiedene Hauptarten geschaltet werden.

Fig. 9. Hintereinanderschaltung von Stromquellen.

Entweder kann jeder positive Pol mit dem negativen der folgenden Zelle (Fig. 9), oder aber es können alle positiven und nega-

tiven Pole miteinander verbunden werden (Fig. 10). Im ersten Falle addieren sich die elektromotorischen Kräfte der einzelnen Zellen, und an den Klemmen der offenen Batterie herrscht eine Spannung von $2 \cdot 6 = 12$ Volt. Dagegen ist die von der Batterie gelieferte Stromstärke nicht höher als die einer einzelnen Zelle, also 3 Ampère.[1])

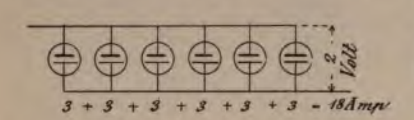


Fig. 10. Nebeneinanderschaltung von Stromquellen.

Im zweiten Falle hingegen ist die Spannung der Batterie nicht höher als die einer Zelle (2 Volt), dagegen sind sämtliche Zellen jetzt für sich an der Stromlieferung beteiligt, so daß die Stromintensität $3 \cdot 6 = 18$ Ampère beträgt.

Die erste Schaltungsart heißt Reihen- oder „Hintereinanderschaltung“, die zweite wird Parallel- oder „Nebeneinanderschaltung“ genannt. Je nach dem Zweck, welchen die Batterie erfüllen soll (hoher oder geringer Widerstand im Leitungskreise) wird der einen oder anderen Schaltungsweise, bezüglich einer Kombination beider Schaltungen der Vorzug zu geben sein.

Man merke den Satz: Die „elektromotorische Kraft“ (und auch die Klemmenspannung) wächst mit der Anzahl der „hintereinandergeschaltenen“, die „Stromstärke“ mit der Zahl der „nebeneinandergeschalteten“ Elemente.

Wir fügen noch hinzu, daß die elektromotorische Kraft eines einzelnen Elementes abhängt von der Art der Elektroden und des Elektrolyten und seine Stromstärke von der Größe der Elektroden.

E. Stromabzweigung. (Nebenschluß.)

Von der Notwendigkeit einer Spannungsdifferenz an den Enden einer Leitung für das Zustandekommen eines Stromes wurde bereits gesprochen. Der Spannungsabfall wird nicht von einem Punkte der Leitung zum anderen plötzlich seiner vollen Größe nach eintreten, sondern sich über den ganzen Leiter verteilen, indem sich in letzterem vom Höchstbetrage bis zum niedrigsten ein gleichmäßiges Spannungsgefälle (auch Potentialgefälle genannt), ausbildet.

[1]) Daß bei der Hintereinanderschaltung von Stromquellen die Stromstärke nicht mit der Zellenzahl wächst, versteht sich ohne weiteres aus der Tatsache, daß mit jeder neu hinzukommenden Zelle auch der innere Widerstand der Kette entsprechend zunimmt.

Hat eine Stromquelle *Q* (Fig. 11) beispielsweise zwischen ihren Polen die Spannungsdifferenz 3 Volt, so werden an Punkten der Leitung, welche in $^1/_3$ bezüglich $^2/_3$ der Kreisleiterlänge von *a* entfernt liegen, die Spannungen 2 Volt (bei *b*) und 1 Volt (bei *c*) herrschen. Zwischen den Punkten *b* und *c* besteht also eine Spannungsdifferenz von 1 Volt, welche ihrerseits wiederum befähigt ist, einen elektrischen Strom in einer die Punkte *b* und *c* verbindenden Zweigleitung ins Leben zu rufen. Ist der Widerstand der neuen Stromschleife bekannt, so läßt sich die Stromstärke, welche in ihr in die Erscheinung tritt, leicht berechnen. Der Widerstand betrage 4 Ohm, die Spannung ist bereits bekannt gleich 1 Volt, mithin die Stromstärke *J* gleich $^1/_4 = 0{,}25$ Ampère.[1]) Nähert man die Abzweigpunkte *b* und *c* einander, so wird die Spannungsdifferenz zwischen ihnen kleiner und damit die Stromstärke in dem Nebenschluß geringer; der umgekehrte Fall tritt bei der Entfernung der Punkte voneinander ein. Da der Widerstand der Hauptleitung mit ihrer Länge wächst, wird beim Nähern der Abzweigpunkte der Widerstand zwischen ihnen geringer und umgekehrt. Man kann also die Abzweigstellen ruhig an ihrem Platze lassen und, was jedenfalls bequemer ist, den Widerstand des Hauptleiterstückes zwischen ihnen verändern. Dies läßt sich, wie später gezeigt wird, auf sehr einfache Weise erreichen. Wächst dieser Widerstand vom Betrage Null zu einem unendlich großen Wert, so steigt die Spannung an den Abzweigpunkten von dem Betrage Null bis zur Spannung der Stromquelle (der letztere Fall tritt ein, wenn die Hauptleitung zwischen *b* und *c* zerschnitten wird).

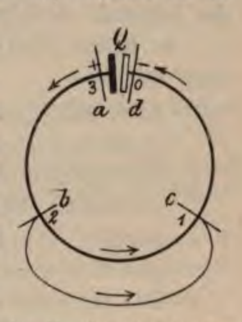


Fig. 11. Stromabzweigung.

Die Kenntnis von den Gesetzen der Stromabzweigung setzt uns in den Stand, von einer für unsere Zwecke mit zu hoher Spannung behafteten Stromquelle einen Strom anzunehmen, dessen Spannung und Stärke wir in weiten Grenzen variieren können. Bei dem Anschluß von Röntgeneinrichtungen an die Leitungen einer elektrischen Zentrale werden wir von dieser Schaltung ausgiebigen

[1]) In Wahrheit verändert sich das Gesamtspannungsbild durch eine Stromentnahme bei *b* und *c*; diese Veränderung, welche in einer Herabminderung der Spannung im Hauptleiter besteht, kann jedoch unberücksichtigt bleiben, wenn die Stromentnahme durch den Nebenschluß gering ist.

Gebrauch machen müssen. Leider — könnte man sagen, denn der Teilstrom, welcher, während der Benutzung des Nebenschlusses, den Hauptstromkreis zwischen den Abzweigpunkten durchfließt, — und das ist in den meisten Fällen der bei weitem größere Teil, — geht für unsere Zwecke nutzlos verloren. Der Gesamtaufwand an Strom wird um so größer, je kleiner die erforderliche Spannung des Nebenschlusses und je größer diejenige der Stromquelle ist.

Von den für den Betrieb von Einrichtungen zur Erzeugung der Röntgenstrahlen mit Vorteil verwendbaren Stromquellen soll der folgende Abschnitt handeln.

In Kürze sind die in diesem Abschnitt gewonnenen Hauptsätze folgende:

1. Jeder elektrischen Stromquelle wohnt eine spezifische „elektromotorische Kraft“ inne. (Seite 6.)
2. Die Stromstärke, welche in einem geschlossenen Leiter zustande kommt, ist der elektromotorischen Kraft direkt, dem Gesamtwiderstande des Stromkreises umgekehrt proportional. (Ohmsches Gesetz.) (Seite 7.)
3. Die „Klemmenspannung“ einer Stromquelle ist gleich dem Produkt aus Stromstärke mal dem Widerstand des Leitungskreises. Sie ist bei „offener“ Stromquelle gleich der „elektromotorischen Kraft“, sonst kleiner. (Seite 9.)
4. Die „elektromotorische Kraft“ wird gemessen in „Volt“ (Symbol V); der „Widerstand“ in „Ohm“ (Symbol Ω); die „Stromstärke“ in „Ampère“ (Symbol A) (Seite 10); die „elektrische Arbeitsleistung“ in Volt-Ampère oder „Watt“ (Seite 11).
5. Die „elektromotorische Kraft“ (Klemmenspannung) eines elektrischen Elementes hängt ab von der Art der Elektroden und des Elektrolyten. Die Stromstärkeleistung wächst mit der Oberfläche der Elektroden. (Seite 12.)
6. Die „elektromotorische Kraft“ (Klemmenspannung) einer Batterie wächst mit der Anzahl der „hintereinander“, die „Stromstärke“ mit der Zahl der „nebeneinander“ geschalteten Elemente. (Seite 12.)
7. In einem Zweigleiter wächst die Spannung mit der elektromotorischen Kraft der Stromquelle und mit dem zwischen den Abzweigstellen befindlichen Widerstande.

Praktische Beispiele.

Beispiel 1: Die Primärspule eines Funkeninduktors habe 4 Ohm Widerstand. Die mittlere zum Betriebe erforderliche Stromstärke betrage 5 Ampère. Es soll festgestellt werden, wieviel Akkumulatorzellen von geeigneter Größe für den Betrieb hintereinander zu schalten sind.

Nach dem Ohmschen Gesetz ist $J = \frac{E}{W}$ (Seite 7); zu ermitteln ist die Spannung, welche in einem Leitungskreis von 4 Ohm Widerstand die Stromstärke 5 Ampère hervorbringt. Mithin

$$E = J \cdot W$$

oder mit Bezug auf die Aufgabe in praktischem Maß

$$E = 5 \cdot 4,$$

woraus folgt $E = 20$ Volt.

Da eine Akkumulatorzelle 2 Volt Spannung hat, sind 10 Zellen hintereinander zu schalten.[1]

Beispiel 2: Eine Stromquelle von 6 Akkumulatorzellen werde durch einen Kupferdraht von 100 m Länge und 2 mm Durchmesser geschlossen. Wie groß ist die in dem Drahte entstehende Stromstärke?

Die Aufgabe zerfällt in 2 Teile. Es ist zunächst der Widerstand des Drahtes in Ohm und darauf die in ihm fließende Stromstärke in Ampère festzustellen.

Nach der Widerstandsformel ist $W = \frac{l}{Q} \cdot k$ (Seite 7).

Bekannt ist $l = 100$ m; k für Kupfer $= 0{,}018$ (vgl. die Tabelle auf Seite 11), Q läßt sich aus dem Durchmesser ermitteln zu 3,14 qmm,

folglich $$W = \frac{100 \cdot 0{,}018}{3{,}14} = \text{rund } 0{,}57 \text{ Ohm.}$$

Da die Batterie 6 Zellen hat (zu je 2 Volt), beträgt ihre Spannung 12 Volt. Nach dem Ohmschen Gesetz ist

$$J = \frac{E}{W}.$$

Bekannt $E = 12$; $W = 0{,}57$; folglich $J = \frac{12}{0{,}57} = \text{rund } 21$ Ampère.

Es kommt mithin in dem Schließungskreise eine Stromstärke von 21 Ampère zustande. Ein in die Leitung eingeschaltetes Ampèremeter würde sie anzeigen.

Beispiel 3: Die Verhältnisse mögen die gleichen sein, wie im Beispiel 2. Es wird nunmehr vorausgesetzt, daß in den Leitungskreis noch ein Funkeninduktor eingeschaltet wird, dessen Widerstand 4 Ohm beträgt. Man hat sich also etwa eine Anlage vorzustellen, bei welcher die Batterie 50 m vom Induktor entfernt liegt.

---

[1]) Dies Beispiel ist lediglich zur Einübung des Ohmschen Gesetzes gebildet und hat insofern keinen praktischen Wert, als eine Induktorspule infolge ihrer Selbstinduktion neben dem Ohmschen Widerstand noch einen sog. scheinbaren Widerstand besitzt, der von ihrer Wickelung und der Frequenz des Unterbrechers abhängt (vgl. d. Kapitel: „Induktoren“).

Es tritt in diesem Falle offenbar zu dem schon ermittelten Widerstand des Leitungskreises (0.57 Ohm) noch derjenige des Funkeninduktors hinzu (4 Ohm), also insgesamt 4.57 Ohm.

Es ist dann $J = \frac{12}{4.57}$ = rund 2.6 Ampère.

Erforderte der Induktor zu seinem Betriebe eine höhere Stromstärke, etwa 4 Ampère, so wäre die Spannung der Batterie durch Hinzuschalten von Elementen entsprechend zu erhöhen. Die neue Aufgabe würde dann lauten: Wie groß muß die Spannung der Stromquelle sein, wenn der Gesamtwiderstand des Schließungskreises 4.57 Ohm beträgt und die erforderliche Stromstärke 4 Ampère ist. Man verfährt dann nach Beispiel 1.

Beispiel 4: Eine Röntgenstrahlen-Einrichtung soll vom städtischen Elektrizitätswerk gespeist werden, das den Strom unter einer Spannungsdifferenz von 110 Volt liefert. Die höchste zulässige Stromstärke für den Induktor sei 8 Ampère, sein Gesamtwiderstand (Ohmscher Widerstand und scheinbarer Widerstand, vgl. die Fußnote auf Seite 15) 5 Ohm. Wie groß muß der Regulierwiderstand mindestens sein, der zum Schutze des Induktors der Leitung eingefügt werden muß?

Fehlt dieser Widerstand, so sieht man unschwer, daß die entstehende Stromstärke viel zu groß ist.

Es wäre dann nämlich $J = \frac{110}{5} = 55$ Ampère.

Mithin ist derjenige Widerstand zu berechnen, der zu den 5 Ohm des Induktors hinzutreten muß, damit bei 110 Volt Spannung $J = 8$ wird.

$$8 = \frac{110}{5 - x} \quad \text{oder} \quad x = \frac{110}{8} - 5 = 8.75 \text{ Ohm.}$$

Der Regulierwiderstand muß also mindestens 8.75 Ohm haben. Eine Aufgabe wie die vorstehende wäre z. B. zu lösen, wenn es sich um die Bestellung eines Regulierwiderstandes bei vorhandenem Induktor und vorhandener Stromquelle handelte.

II. Abschnitt.

Die Stromquellen und ihre Behandlung.[1])

A. Die galvanischen Batterien.

Von den Stromquellen, welche für den Betrieb großer Funkeninduktoren geeignet sind, kommen außer den Akkumulatoren und außer den Dynamomaschinen ernstlich nur die sogenannten Chromsäure-Tauchbatterien in Frage. Die Verwendung aller anderen Elemente, auch der Bunsenelemente, ist einer müßigen Spielerei gleich zu achten. Die Tauchbatterien werden überall da ein Notbehelf sein, wo eine Gelegenheit zum Laden einer Akkumulatorenbatterie fehlt. Ihrer immerhin untergeordneten Bedeutung wegen mögen wenige Fingerzeige für ihre Anschaffung und Behandlung genügen.

Die Stromgeber sind Elemente, bei denen eine Kohle und eine Zinkplatte in ein Gefäß mit einer Lösung von doppelchromsaurem Kali taucht. Um die Oberfläche der Zinkplatte voll auszunutzen, läßt man sie meist von zwei Kohleplatten einschließen. Letztere geben den positiven, die erstere den negativen Pol des Elementes ab. Durch eine Kurbelvorrichtung können sämtliche Platten der Batterie zugleich aus der Lösung gehoben werden, was nach jeder Benutzung unbedingt nötig ist. Fig. 12 stellt eine Kurbelvorrichtung von Ernecke-Berlin dar.

Nach öfterem Gebrauch wird die Lösung, welche zuerst eine prachtvoll rote Farbe hatte, dunkel, schließlich tintig und ist dann nicht mehr zu benutzen. Man setzt die neue Füllung folgendermaßen zusammen:

1 Liter Wasser
104 ccm Schwefelsäure,
100 g doppelchromsaures Kali.

Die Schwefelsäure gießt man langsam unter stetem Umrühren zum Wasser.

[1]) Über den direkten Anschluß der Röntgeneinrichtung an das Lichtleitungsnetz wird im IV u. VI. Abschnitt berichtet.

Eine zeitweilige Säuberung der Gläser wie der Metallteile ist nicht dringend genug anzuraten. Die Kohleplatten werden dabei mit heißem Wasser abgebrüht und dann ausgetrocknet, die Zinkplatten, welche von der Säure heftig angegriffen werden, sollte man im Interesse ihrer Konservierung frisch amalgamieren. Dies geschieht auf folgende Weise. Ein flaches Gefäß, das mit Wasser verdünnte Schwefelsäure (1:15) und auf dem Boden etwas Quecksilber ent-

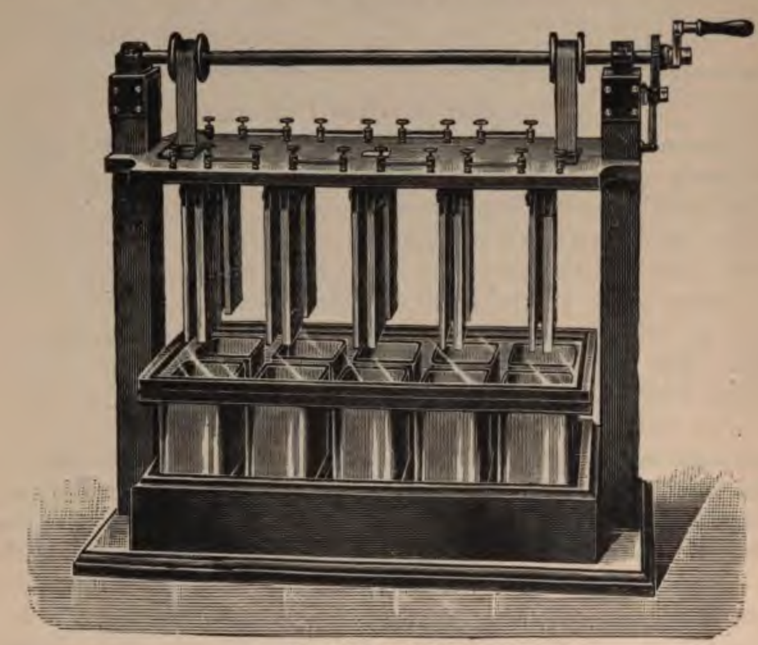


Fig. 12. Tauchbatterie.

hält, wird bereit gehalten. Die Zinkplatten werden durch Lösen der Schrauben aus ihrer Metallfassung genommen und, nachdem sie unter Wasser gründlich abgebürstet sind, flach in die Schale gelegt. Wenn man sie öfter umdreht und eventuell noch mit einer alten Bürste etwas nachhilft, bedecken sie sich schnell mit einer glänzenden Quecksilberschicht. Man spült dann die Zinkplatten sofort gründlich ab und verschraubt sie wieder mit ihrer Fassung. Ferner sorgt man dafür, daß alle Kontakte peinlich sauber und stets metallisch blank gehalten werden. Nur durch gewissenhafte Beobachtung dieser Vorschriften kann eine Batterie auf der Höhe ihrer Leistungsfähigkeit erhalten werden.

Jedes Element gibt im Mittel eine Klemmenspannung bis zu 2,5 Volt. Diese sinkt jedoch bei Stromentnahme durch Polarisation der Platten nicht unbeträchtlich, so daß man praktisch nur mit einer Nutzspannung von etwa 1,5 Volt rechnen darf. Hiernach ist unter Berücksichtigung der Spannung, welche der Induktor zu seinem Betriebe erfordert, die Zahl der zu einer Tauchbatterie zu vereinigenden Elemente zu bestimmen. Die Stromstärke ist abhängig von der Größe der Platten. Man nimmt sie der Sicherheit halber nicht zu klein, eventuell vereinigt man zwei Zink- und drei Kohleplatten oder noch mehr zu einem Element.

B. Die Akkumulatoren. Ihre Charakteristik.

Ein praktisches Mittel, die elektrische Energie an sich in brauchbarer Menge aufzuspeichern, besitzt die Technik bisher nicht; man bedient sich daher der, in den elektrischen Akkumulatoren durch den Strom geleisteten, chemischen Arbeit als eines Zwischengliedes. Wie sich der chemische Prozeß, der in seinen Einzelheiten jedenfalls sehr komplizierter Natur ist, in den Akkumulatoren abspielt, darüber ist man sich noch nicht ganz einig. Wir wollen es immerhin versuchen, an der Hand einer einfacheren Betrachtung wenigstens eine ungefähre Vorstellung von der Wirkung des Akkumulators auf folgende Weise zu geben.

In ein Gefäß mit verdünnter Schwefelsäure mögen zwei voneinander getrennte Bleiplatten tauchen. Die eine der Platten wird mit dem positiven (+), die andere mit dem negativen (—) Pole einer elektrischen Stromquelle verbunden, worauf sich sofort an der positiven Platte Sauerstoff, an der negativen Wasserstoff auszuscheiden beginnt. Sichtbar wird diese Bildung wesentlich jedoch nur an der negativen Elektrode in Form aufsteigender Wasserstoffbläschen, an der positiven ist nur geringe Entwickelung zu bemerken, was auf eine chemische Veränderung des Bleies hinweist. Wird der Versuch nach einiger Zeit unterbrochen, so zeigt sich in der Tat die Farbe der positiven Bleiplatte verändert. Sie ist von der charakteristischen des Bleies in eine rotbraune übergegangen und die Untersuchung zeigt, daß sich die Bleiplatte mit einer Schicht von Bleisuperoxyd überzogen hat. Die negative Platte hat sich während des Vorganges an ihrer Oberfläche unter dem Einfluß der anwesenden Schwefelsäure mit Bleisulfat bedeckt und man hat nun, nach Unterbrechung des Stromes, zwei ihrer chemischen Zusammensetzung nach verschiedene Platten in einem Gefäß mit verdünnter Schwefelsäure, also ein elektrisches Element vor sich, aus dem bei Verbindung seiner

Pole so lange Strom entnommen werden kann, bis sich die durch die Ladung hervorgerufenen chemischen Prozesse zurückgebildet haben. Die Oberfläche der negativen Platte geht hierbei in schwammiges Blei über, das Bleisuperoxyd der positiven sinkt auf eine tiefere Oxydationsstufe, indem es sich in Bleioxyd verwandelt und eine bedeutend hellere Farbe, welche ein oberflächliches Kriterium über den Stand der Entladung abgibt, annimmt. Der Akkumulator ist nach dieser Rückbildung wieder fähig, neue Energie in sich aufzunehmen. Der Entladestrom hat natürlich die umgekehrte Richtung wie der Ladestrom, d. h. derjenige Pol des Akkumulators, der mit dem positiven Pol der Ladeleitung verbunden war, ist auch der positive der Zelle.

Da die chemische Formierung auch bei öfterer Wiederholung nur bis zu geringer Tiefe in die Bleiplatten eindringt, so ist die Aufnahmefähigkeit eines Akkumulators nicht beliebig groß, sondern hängt ab von der Größe (oder Anzahl) der Bleiplatten und von ihrer Beschaffenheit. Man spricht von der „Kapazität" eines Akkumulators und versteht darunter das Produkt aus der maximalen Entladestromstärke und der Zeit der Entladung, gemessen in Stunden. — Eine Akkumulatorzelle z. B., welche eine maximale Entladungsstromstärke von 6 Ampère bei zehnstündiger Entladung gibt, hat eine Kapazität von 60 Ampère-Stunden.

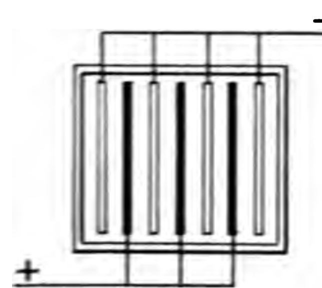


Fig. 13. Anordnung der Bleiplatten in einer Akkumulatorzelle.

In der Praxis verwendet man für die positiven Platten selten, für die negativen niemals, einfache Bleiplatten, da dieselben eine zu geringe Kapazität haben, sondern die verschiedenartigsten Bleigitter, in welche die aktive Masse gleich in Form der Bleioxyde hineingestrichen wird. Man füllt das positive Gitter mit Pb_3O_4 (Mennige), das negative mit PbO (Bleiglätte) und verbindet sämtliche positive und sämtliche negative Platten einer Zelle miteinander durch Bleilötung, wie es Fig. 13 zeigt.

Durch die Größe und Anzahl der Platten ist die Stromstärke bestimmt, mit welcher die Zelle geladen und entladen werden darf, ohne Schaden zu nehmen. Von der liefernden Firma wird dieselbe stets angegeben, und man hüte sich, die obere zulässige Grenze der Beanspruchung zu überschreiten, denn trotz ihrer robusten Gestalt haben die Akkumulatoren eine recht zarte Gesundheit. Die aktive

Masse — dies ist der technische Name für die Gitterfüllung — arbeitet nämlich ähnlich einer Lunge, sie dehnt sich bei der Ladung etwas aus und fällt bei der Entladung wieder zusammen. Wird beides mit zu großer Stromstärke vorgenommen, so biegen sich die Platten, die aktive Masse bröckelt heraus und fällt zwischen den Platten herab. Hierdurch wird nicht nur die Kapazität verringert, sondern auch die Möglichkeit gegeben, daß durch die zu Boden sinkende Füllung eine direkte leitende Verbindung zwischen einer positiven und einer negativen Platte, ein sogenannter innerer Kurzschluß, hergestellt und durch die nun eintretende stürmische Ent-



Fig. 14. Transportable Akkumulatorenbatterie.

ladung die Platten völlig zu Grunde gerichtet werden. Man schützt sich hiergegen am besten durch Einschaltung von Sicherungen und Strommeßinstrumenten, die in einem der folgenden Abschnitte noch eingehend besprochen werden.

Die Akkumulatoren werden für Röntgeneinrichtungen meist zu je 3—5 Zellen in Holzkästen vereinigt. Die Zellen sind dann, um ein Ausfließen der Säure zu verhüten, mit einer harzigen Substanz vergossen, in die oben zum freien Abzug der Gase kleine, für den Transport mit einem Gummistopfen versehene Tüllen eingelassen sind. Sind die Zellen aus Glas, so läßt man sie wohl zur besseren Beaufsichtigung der Platten und des Säurestandes etwas über den Holzkasten hervorstehen, oder man versieht die Vorder-

wand der Kästen mit mehr oder minder großen Ausschnitten. Letzteres ist bei den, in den Abbildungen 14 und 15 dargestellten, transportablen Batteriekästen der Fall, welche je vier einzelne Zellen enthalten. Bei der letzteren Type (Fig. 15), sind die Bleiplatten (drei positive und fünf negative) in Kästen aus Celluloid eingebaut, was eine größere Haltbarkeit beim Transport gewähren soll. Bei einigermaßen sorgfältiger Montage und guter Verpackung der Zellen in Filzzwischenlagen ist diese Vorsicht wohl kaum nötig.

Die Zellen sind innerhalb eines Kastens hintereinander oder auf Spannung geschaltet, d. h. jeder positive Pol der vorhergehenden Zelle ist mit dem negativen der folgenden verbunden (vergl. S. 11).



Fig. 15. Transportable Akkumulatorenbatterie.

Die elektromotorischen Kräfte der Zellen addieren sich daher, und es entsteht an den freien Endpolen der ganzen Kette eine Spannung, die der Summe der elektromotorischen Kräfte der einzelnen Zellen entspricht, an den Klemmen eines Kastens, welcher z. B. vier Zellen enthält, also eine Spannung von im Mittel $2 \cdot 4 = 8$ Volt, da jede Zelle im Durchschnitt eine Spannung von 2 Volt hat.

Wie schon erwähnt, ist es nicht gleichgültig, mit welcher Stromstärke eine Akkumulatorenbatterie entladen wird; man hat sich daher bei einem Ankauf vorher zu vergewissern, welche Stromintensität (Stärke) und welche Spannung zum Betriebe des in Aussicht genommenen Induktoriums erforderlich ist. Gebraucht dasselbe beispielsweise eine Stromstärke von 7 Ampère bei einer Batterieklemmenspannung von 10 Volt, so werden 5 Zellen einer Type, welche mit 7 Ampère Entladestromstärke belastet werden darf, hintereinander zu schalten sein. Da jedoch beim Betriebe Störungen mit einer zeit-

weilig höheren Inanspruchnahme der Batterie vorkommen können, so wird man gut daran tun, die Zellen eher etwas zu groß als zu klein zu wählen.

Die Batterien sind meist für 3-, 5-, oder 10stündige Entladung gebaut. Diese Angabe dient als Maßstab für die Entladungsstromstärke. Hat z. B. eine Batterie eine Kapazität von 70 Ampèrestunden und gestattet dieselbe eine 10stündige Entladung, so kann sie im Maximum mit 7 Ampère, oder bei 5stündiger Entladung mit 14 Ampère, bei 3stündiger Entladung mit etwa 23 Ampère entladen werden, ohne daß den Platten ein Schaden droht.

Weitaus am meisten werden für transportable Zwecke, die hier wohl nur in Frage kommen, Zellen für 10—5stündige Entladung konstruiert. Zellen von zu großer Kapazität zu wählen (über 80 Ampère-Stunden) empfiehlt sich nicht, weil sie für den Transport zu schwer werden. Es ist auch ein Irrtum, anzunehmen, daß ein einmal geladener Akkumulator seine Ladung unversehrt aufbewahre und daß es daher zur Vermeidung von Transportkosten nur von Vorteil sein könne, mit einem Male einen recht großen „Vorrat“ von Elektrizität zu erhalten. Denn jede Akkumulatorenbatterie zeigt durch sekundäre Vorgänge zwischen Bleiplatten und Elektrolyt eine gewisse „Selbstentladung“, die, wenn sie auch verhältnismäßig gering ist, doch genügt, um nach einiger Zeit den Vorrat an Elektrizität wesentlich zu verringern. Wo daher eine Röntgenstrahleneinrichtung nicht fortdauernd im Betrieb ist, mag eine Batterie von kleiner Kapazität empfohlen werden; 30—50 Ampèrestunden dürften bei Zulässigkeit einer maximalen Entladestromstärke von 3—6 resp. 6—10 Ampère für Induktoren von 15—30 cm Schlagweite vollauf genügen.

Fast noch gefährlicher wie eine zeitweise Überanstrengung der Akkumulatoren ist eine zu weite Entladung. Die Spannung von ungefähr 2,5 Volt pro Zelle, welche die Batterie in völlig geladenem Zustande zeigt, sinkt bei der Entladung schnell auf ca. 2 Volt herab und bleibt dann während der längsten Zeit derselben fast konstant, um erst gegen Ende der Entladung bei etwa 1,8 Volt rasch abzufallen. Eine Batterie von 8 Zellen würde also im geladenen Zustande etwa $8 \cdot 2{,}5 = 20$ Volt, im entladenen etwa $8 \cdot 1{,}8 = 14{,}4$ Volt, im Mittel während der Entladung $8 \cdot 2 = 16$ Volt oder etwas weniger Klemmenspannung zeigen. Ist die Gesamtspannung auf einen Betrag herabgesunken, welcher einer Spannung von 1,8 Volt pro Zelle entspricht, so darf die Entladung nicht weiter ohne Schaden für die Batterie fortgesetzt werden.

Fig. 16 zeigt, wie während der Entladung die Spannung an den Polen einer Zelle sinkt. Da die höchste Spannung von etwa 2,5 Volt nur in den ersten Minuten nach beendeter Ladung vorhanden ist und dann sehr schnell herabsinkt, kann man zu Beginn der Entladungsperiode nur noch mit einer Spannung von nahezu 2 Volt rechnen. Diese Spannung bleibt bei unbenutzter Zelle nahezu konstant, sinkt jedoch bei Entnahme der maximal zulässigen Entladestromstärke schnell auf etwa 1,98 Volt, um dann auch weiterhin einen stetigen, langsamen Abfall zu zeigen. Nähert sich die Entladung ihrem Ende, was bei der durch die charakteristische Ent-

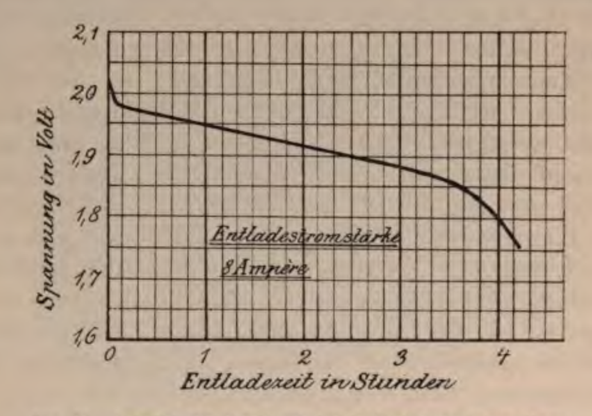


Fig. 16. Beispiel der charakteristischen Entladungskurve einer Akkumulatorzelle.

ladungskurve gekennzeichneten Zelle nach 3—4 Stunden der Fall ist, so sinkt die Spannung rasch auf geringere Werte und verbietet bei 1,8 Volt eine weitere Entladung. Durch die Spannungskurve ist somit die genaue Charakteristik der untersuchten Zelle gegeben. Man sieht, daß sie für eine vierstündige Entladung gebaut ist und rund $8 \cdot 4 = 32$ Ampère-Stunden Kapazität hat.

In der Höhe der Klemmenspannung besitzt man mithin einen ziemlich sicheren Anhalt für den Ladungszustand einer Batterie. Man hat nur ein Voltmeter mit seinen Drähten von Zeit zu Zeit an die beiden Pole der Batterie zu legen und sich über die Spannung, am besten während der Stromentnahme, zu vergewissern. Gegenüber dem Vorteil, welche ein Voltmeter für die Erhaltung der Akkumulatoren mit sich bringt, kann der Preis kaum ins Gewicht fallen, und seine Anschaffung sei hiermit angelegentlichst em-

pfohlen.[1]) Der Abschnitt VI enthält über Anwendung und Behandlung des Apparates alles Wissenswerte.

Glaubt man durchaus auf die Erwerbung eines Voltmeters verzichten zu müssen, so versäume man doch nicht, sich auf folgende Weise wenigstens ein ungefähres Urteil über die jeweilige Spannung der Batterie zu verschaffen. Hierzu wird eine Glühlampe von der mittleren Spannung der Batterie (also bei 8 Zellen eine Lampe von 16 Volt), welche mit Fassung und Zuleitungsdrähten versehen von jeder elektrotechnischen Fabrik zu beziehen ist, an die Klemmen der Batterie gelegt (vergl. auch Abschnitt VI). Sie brennt für gewöhnlich mit normaler Helligkeit, erst gegen Ende der Entladung wird man finden, daß die Leuchtkraft wesentlich nachläßt. Man muß dann für eine sofortige Wiederladung Sorge tragen, da entladene Platten sich gern mit einer Schicht von Bleisulfat bedecken, das sie eines großen Teiles ihrer Aktivität beraubt. Es ist daher im Interesse der Konservierung ebenfalls dringend zu raten, eine Batterie im Falle einer längeren Nichtbenutzung stets geladen aufzubewahren, bezgl. eine Aufladung alle Monat einmal vornehmen zu lassen. Eine Untersuchung der Spannung sollte im Betriebe täglich vorgenommen werden.

C. Das Laden der Akkumulatoren.

1. Die Ladung im Anschluß an das Gleichstrom-Lichtleitungsnetz.

Die verschiedenartigsten Elementsätze, welche von einigen Seiten zum Selbstladen der Akkumulatoren noch immer empfohlen werden, sind ganz unzureichend.

In den meisten Fällen wird man, wenn nicht der direkte Anschluß an das Lichtleitungsnetz bequem ermöglicht ist, zu den Akkumulatoren als Stromquelle greifen. Diese Akkumulatoren sind dann natürlich transportabel und ihre Ladung besorgt meist die liefernde Firma, welche auch bereit ist, gegen eine gewisse jährliche Quote die Batterie in Stand zu halten. Wo dies nicht der Fall ist, wird man versuchen müssen, die Ladung irgendwo in der Nähe, etwa in einem industriellen Etablissement vorzunehmen. Unter Umständen wird es sogar nützlich sein, sich einer Akkumulatoren-

[1]) Das Instrument muß bei einer frisch geladenen und gesunden Batterie eine Spannung zeigen, die das Doppelte der Zellenzahl übersteigt. Ist dies nicht der Fall, so sind die Akkumulatoren unvollständig geladen worden.

batterie zu bedienen, selbst wenn Lichtleitungsanschluß im Hause vorhanden ist, in allen solchen Fällen nämlich, wo die Lichtleitungsspannung über 65 Volt hinausgeht und man für die Röntgenanlage den Turbinenunterbrecher oder Wehneltunterbrecher nicht anwenden will oder kann. Dann ist das Selbstladen an Ort und Stelle natürlich das Beste, vorausgesetzt, daß mit Sachkenntnis verfahren wird. Man handle nach den sich aus diesem Abschnitt ergebenden Gesichtspunkten.

Von einer Stelle der Lichtleitung, welche fähig ist, die für die Ladung benötigte Strommenge abzugeben, also zum Beispiel in der Nähe eines Ausschalters für einen mehrflammigen Beleuchtungskörper, zweige man zwei starke, isolierte Kupferdrähte ab, die man an der Wand in der Nähe der Akkumulatoren in zwei auf einem Brette montierten Klemmen endigen läßt. Die Klemmen sind ihrer Polarität nach deutlich mit + und — zu bezeichnen. Ferner wird in die Leitung eine auswechselbare Bleisicherung geschaltet, welche für die, von den Akkumulatoren aufgenommene, maximale Stromstärke berechnet ist und dazu dient, die Lichtleitung vor Überanstrengung zu schützen (vergl. Abschnitt VI). Am besten wird das Verlegen dieser Leitung von einem verständigen und geübten Monteur ausgeführt.

Die Ladung erfolgt durch Verbindung der Plus- und Minusklemme der Batterie mit den gleichnamigen Polen der Lichtleitung. Ein Versehen hierbei kann von den übelsten Folgen sein. Man fordere daher von der die Akkumulatoren liefernden Firma, daß die Klemmen an den Kästen deutlich ihrer Polarität nach, am besten durch Einbrennen der Zeichen + und —, bezeichnet sind. Auch die Angabe der maximalen Lade- und Entladestromstärke, sowie die Kapazität des Akkumulators in Ampèrestunden sollte auf den Kästen nicht fehlen. Versäumtes hole man nach, indem man die Pole mit dem Polsucher, einem im Abschnitt VI genauer beschriebenen, nützlichen und wohlfeilen Instrument bestimmt. Sind die Platten der Zellen sichtbar, so wird man die Plusklemme leicht auch ohne Polsucher auffinden können, da sie mit den durch die Bleisuperoxydbildung dunkel gefärbten positiven Platten verbunden ist.

Die Verbindung der Batterie mit der Lichtleitung darf niemals ohne Zwischenschaltung eines a u s r e i c h e n d e n W i d e r s t a n d e s und eines Strom-Meßinstrumentes (Ampèremeters) geschehen, da es leicht begreiflich ist, daß, bei dem geringen inneren Widerstande der Akkumulatoren, sofort eine für diese verderbliche Ladestromstärke zustande kommen würde.

Fig. 17 zeigt eine schematische Schaltungsskizze. K_1 und K_2 sind die Endklemmen der Lichtleitung, denen die Bleisicherung S vorgeschaltet ist; BB ist die aus zwei hintereinander geschalteten Kästen zu je 4 Zellen bestehende Akkumulatorenbatterie, deren offene Minusklemme mit der Minusklemme der Lichtleitung K_1 verbunden ist, woraus die richtige Schaltung für die Plus-Pole von selbst folgt.

Der Stromkreislauf durch die Batterie ist an irgend einer Stelle unterbrochen, um den Regulier-Widerstand RW und das Ampèremeter $Ap.$ aufzunehmen. Dieser Widerstand, der aus einem Stück spiralig aufgewundenen, vom Strome zu durchlaufenden Drahtes besteht, muß hinreichend groß gewählt sein. Man gebe daher bei der Anschaffung genau an, wie groß die Spannung der Lichtleitung in Volt und demgegenüber, wie groß die Spannung und maximale Ladestromstärke der Akkumulatoren ist.[1])

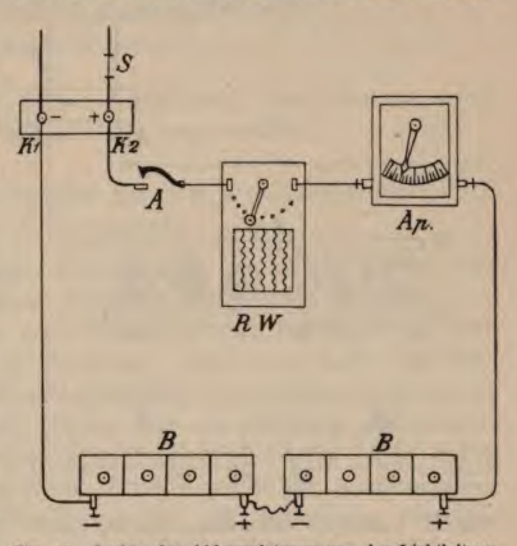


Fig. 17. Laden der Akkumulatoren von der Lichtleitung.

Vor Stromschluß wird der Widerstand völlig eingeschaltet, so daß der Strom sämtliche Drahtwindungen durchlaufen muß. (Näheres über die Konstruktion der Widerstände findet sich im Abschnitt VI.) Schließt man den Strom, so wird sich meist das Ampèremeter auf einen Betrag einstellen, welcher der erlaubten maximalen Ladestromstärke noch nicht entspricht. Durch allmähliches Drehen der Widerstandskurbel bringt man die Stromstärke auf die zulässige Höhe.

Die Verschlußpfropfen der Zellenkästen werden bei der Ladung entfernt. Diese ist vollendet, wenn an den Platten der Batterie reichlich Blasen aufsteigen. Sollte die Stromstärke gegen Schluß der Ladung infolge der steigenden Gegenspannung der

[1]) Die Spannung in den Lichtleitungen beträgt meist 110 Volt, seltener 220 Volt, kaum noch 65 Volt. Ein Beispiel für die Berechnung eines Vorschaltwiderstandes ist am Schlusse des Abschnittes II durchgeführt.

Akkumulatoren etwas sinken, so schaltet man noch etwas Widerstand aus.

Da die Beschaffung eines geeigneten Widerstandes unumgänglich notwendig und das Vorhandensein eines Ampèremeters immerhin wünschenswert ist, so wird die beschriebene Art der Ladung meistens angewendet werden. Sie ist jedenfalls die sicherste und genaueste. Nur der Vollständigkeit wegen mag daher noch ein Verfahren angegeben sein, das die Ladung auch ohne Widerstand und Ampèremeter erlaubt. Letzteres wird durch eine Reihe parallel geschalteter Glühlampen von bekannter Stromstärke ersetzt (Fig. 18).

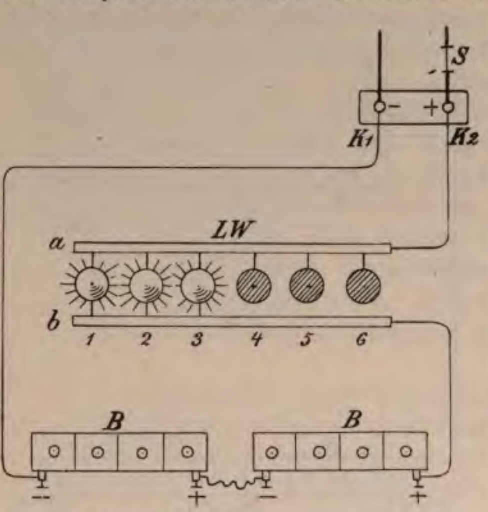


Fig. 18. Ladung der Akkumulatoren von der Lichtleitung unter Vorschalt von Glühlampen.

Die von K_2 kommende + Leitung endigt in einer Metallschiene *a*, der vom + Pol der Batterie kommende Draht an der Schiene *b* des Lampenwiderstandes *L W*; *a* und *b* sind voneinander isoliert und bieten dem Strom keinen Weg. Das Hindernis läßt sich nun durch Glühlampen überbrücken, die zwischen die Schienen eingeschaltet werden können. Wählt man die Glühlampen so, daß sie beispielsweise $^1/_2$ Ampère Strom verbrauchen, oder, was dasselbe ist, daß jede eine Stromstärke von $^1/_2$ Ampère hindurchläßt, so wird beim Einschalten einer Lampe $^1/_2$ Ampère zu den Akkumulatoren gelangen und so weiter bei jeder folgenden Lampe bis zur notwendigen Stromstärke.[1])

Fig. 19 zeigt einen Lampenwiderstand für sechs Lampen, wie ihn die Firma Ferdinand Ernecke in Berlin ausführt. Bei Beschaffung eines derartigen Widerstandes ist natürlich die Angabe der Spannung der Lichtleitung und der Akkumulatorenbatterie, sowie die maximale Ladestromstärke der letzteren notwendig. Die

[1]) Unsere Zeichnung Fig. 18 stellt eine Ladung mit 1,5 Ampère Stromstärke, also mit drei brennenden Glühlampen zu je 0,5 Ampère dar.

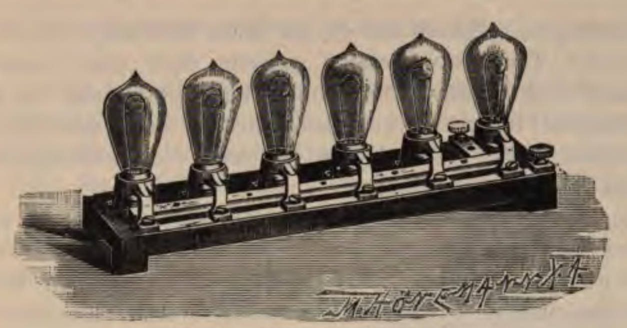


Fig. 19. Glühlampenwiderstand.

Lampen haben entweder eigene Ausschalter, oder werden durch Herausschrauben aus ihrem Gewinde ausgeschaltet.

2. Die Ladung im Anschluß an ein Wechselstrom-Lichtleitungsnetz.

Führt die Lichtleitung Wechselstrom, so ist das Laden von Akkumulatoren aus folgenden Gründen direkt nicht möglich.

Das Charakteristikum eines Wechselstromes besteht in der fortdauernden Änderung seiner Richtung. Man kann daher von einer bleibenden Polarität der Anschlußklemmen einer Wechselstromleitung nicht reden. Sie wechselt ebenso wie die Richtung des Stromes selbst, oft hundertmal und mehr in einer Sekunde. Man müßte die Leitungsdrähte in demselben Tempo gegen die Akkumulatoren vertauschen, oder doch allemal nur bei der Wiederkehr derselben Stromrichtung anschalten, um eine Ladung zu erzielen.

Dies Prinzip der stoßweisen Ladung ist bei dem automatischen Wechselstrom - Gleichrichter von Kohl-Chemnitz mit bestem Erfolg durchgeführt worden. Zum Verständnis dieses Apparates sei noch folgendes bemerkt.

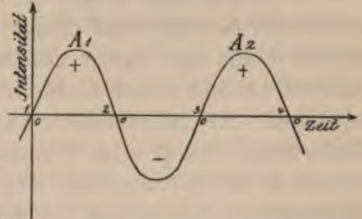


Fig. 20. Verlauf eines Wechselstromes.

Ein Wechselstrom ändert nicht nur zeitlich seine Richtung, sondern auch seine Stärke (Intensität). Diese wächst an von dem Betrage O bis zu einem gewissen Höchstwert A_1 (Fig. 20), um darauf wieder auf den Betrag O herabzusinken. Man vergleiche die nebenstehende Kurve, welche die Charakteristik eines Wechselstromes nach Intensität und Zeit gibt. Ist die Intensität gleich

O geworden, so wechselt der Strom seine Richtung. (Die Polarität ändert sich.) Eine Stromklemme, welche eben noch positiv war, wird daher nun negativ. Die Stromstärke nimmt wieder zu, erreicht einen zweiten Höchstwert und kehrt hierauf, nach der Abzisse abfallend, zum Wert O zurück, um, abermals die Richtungwechselnd, in A_2 zu kulminieren u. s. w.

Die Strecke der Kurve zwischen den beiden Punkten 1 und 3 wird eine Periode genannt; sie besteht aus einer positiven und einer negativen Phase und enthält einen zweimaligen Wechsel der Stromrichtung. Die Wechselstromzentralen entsenden einen Strom von meist 80—100 Wechseln in der Sekunde. Soll dieser zum Laden von Akkumulatoren dienen, so darf immer nur die eine Phase — etwa die positive — in die Batterie gelangen. Wie der Kohlsche Wechselstrom-Gleichrichter, der für eine Reihe ähnlicher Vorrichtungen in der Kochschen Konstruktion typisch geworden ist, dieses Ziel erreicht, kann aus der schematischen Fig. 21 ersehen werden.

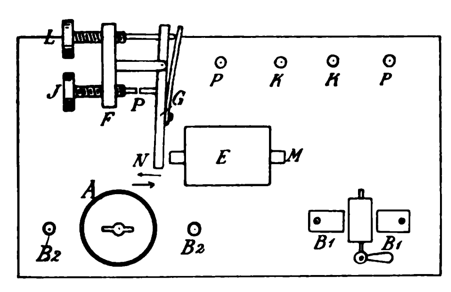


Fig. 21. Schema des Kohlschen Wechselstrom-Gleichrichters.

Man denke sich einen Deprez-Unterbrecher (vgl. Abschnitt IV) vor dem Kern eines Elektromagneten E angeordnet, welcher durch Wechselstrom gespeist wird und mit demselben seine Polarität ändert.

So steht dem Anker G des Unterbrechers in rascher Folge einmal der Nordpol und darauf der Südpol des Magneten gegenüber, welche beide den Anker anziehen würden, wenn er aus unmagnetischem weichen Eisen bestünde. Sein Material ist jedoch Stahl und er selbst ein permanenter Magnet, der im Gegensatze zu dem Elektromagneten E seine Polarität nicht wechselt, so daß, im Phasenrhythmus der Stromquelle, sich abwechselnd gleichnamige und ungleichnamige Magnetpole gegenüberstehen. Von letzteren weiß man, daß sie sich anziehen, von ersteren, daß sie sich abstoßen.

Die als positiv bezeichnete Richtung des Wechselstromes möge bei M jedesmal einen Nordpol erzeugen und der permanente Ankermagnet G bei N einen festen Nordpol besitzen. Dann wird jede positive Phase des Erregerstromes den Anker abstoßen und die Platinkontakte P aneinanderpressen. Hingegen bewirkt eine positive

Phase ein Anziehen des Ankers und eine Trennung der Platinkontakte.

Da der die Akkumulatoren speisende Strom demselben Leitungsnetz entnommen wird, das auch dem Magneten *E* Energie liefert, so folgt, daß durch die Unterbrechung nur gleichnamige Phasen (in diesem Falle die positiven) des Stromes auf den Akkumulator zur Wirkung kommen können.


Fig. 22. Kohlscher Wechselstrom-Gleichrichter.

Während die älteren Kohlschen Instrumente das eben besprochene Schema auch im äußeren Aufbau erkennen ließen, zeigen die neueren ein wesentlich verändertes Aussehen (Fig. 22).

Elektromagnet, Anker und Kontakte sind auf einer Marmorplatte in passender Weise angeordnet. Die Frequenz des Apparates, d. h. die Anzahl der in die Akkumulatorenbatterie eintretenden Stromstöße, hängt lediglich von der Wechselzahl der Stromquelle ab und ist daher nicht variabel. Die Fabrik liefert den Apparat in zwei verschiedenen Größen für 10 und 15 Ampère Stromstärke. Um den Synchronismus des Umformers mit der Periodenzahl des Wechselstroms zu erzielen, wird die Federspannung des Relais nach den Angaben des Bestellers bereits von der Fabrik reguliert, wenn keine Angaben vorliegen, auf eine Wechselzahl von 100 in der Minute, welche bei den Wechselstrom- oder Gleichstromwerken Deutschlands im allgemeinen gebräuchlich ist. Selbst vermeide man möglichst, an der Federspannung etwas zu ändern. Auch ist folgendes an diesem Wechselstrom-Gleichstrom-Umformer, der eigentlich nichts anderes ist, als ein Unterbrecher und der mit geringen Abänderungen auch als solcher verwandt werden kann, wohl zu beachten.

Die Spannung des ladenden Wechselstromes ist (man vergleiche die Fig. 23) keine konstante, sondern wächst von dem Betrage Null bis zu einem Höchstwert, welchen man als Maximalspannung des Wechselstroms zu bezeichnen pflegt. Für die Ladung ist also Bedingung, daß die elektromotorische Kraft der Batterie diese Maximal-

spannung nicht überschreitet, da andernfalls Strom aus der Batterie in das Leitungsnetz übertreten würde. In praxi dürfte dieser Fall allerdings kaum eintreten, da die gegenelektromotorische Kraft der Batterie 20 Volt selten überschreiten wird und die Maximalspannung des Wechselstroms meist höher als 100 Volt ist. Immerhin ist noch Vorsicht am Platze. Trägt man in die Figur die Höhe der Gegenspannung als gerade Linie ein (im diskutierten Falle bei 20 Volt), so bemerkt man, daß niemals, so gering auch die Spannung der Batterie sein möge, die ganze von der Wechselstromphase geleistete Arbeit für die Ladung zur Wirkung kommen kann. Es handelt sich stets nur um den Arbeitsbetrag, welcher durch das schraffierte Kurvenstück oberhalb der die Spannungshöhe der Batterie kennzeichnenden Linie dargestellt ist. Hieraus ergibt sich eine wichtige Betrachtung für die Regulierung des Kohlschen Unterbrechers. Schließt dieser nämlich den Strom auf die Batterie zu früh,

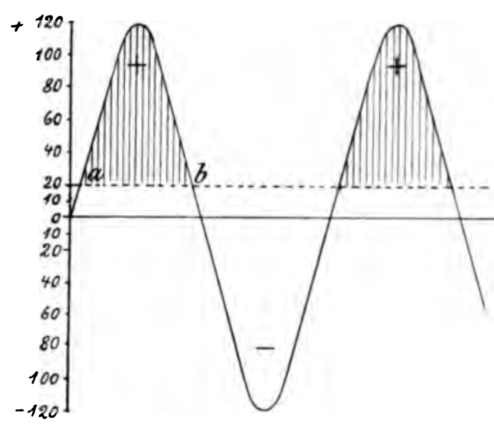


Fig. 23. Zum Verständnis des Wechselstrom-Gleichrichters.

ehe etwa die Spannung des Wechselstroms die Höhe der Gegenspannung der Batterie erreicht hat, so läuft der Strom in der verkehrten Richtung und die Batterie entlädt sich. Durch eine geeignete von der Batterie selbst gesteuerte Vorrichtung ist jedoch Vorsorge getroffen, daß dies nicht geschehen kann. Der Stromschluß tritt vielmehr allemal in demjenigen Moment ein, wo sich die Spannung des Wechselstroms gegen die Spannung der Batterie aufhebt, also auf unserer Kurve in den Punkten *a* und *b*. Für die Haltbarkeit des Unterbrechers ist diese Anordnung von größtem Wert; denn man begreift wohl, daß bei entgegengesetztem, sonst aber gleich großem Spannungswerte in derselben Leitung ein Strom nicht zustande kommen kann. Der Schluß, bezüglich die Öffnung, an den Kontaktteilen des Unterbrechers erfolgt daher funkenlos.

Schließlich läßt sich die Ladung mit Wechselstrom [illegible] dem Umwege über eine mechanische Arbeitsleistur- Hierbei wird der Wechselstrom (oder Drehstrom, w

besondere Verkettung von Wechselströmen ist) in einen Gleichstrom verwandelt. Das Prinzip derartiger Wechselstrom-Gleichstromumformer ist folgendes (Fig. 24): Die elektrische Energie tritt vom Lei-

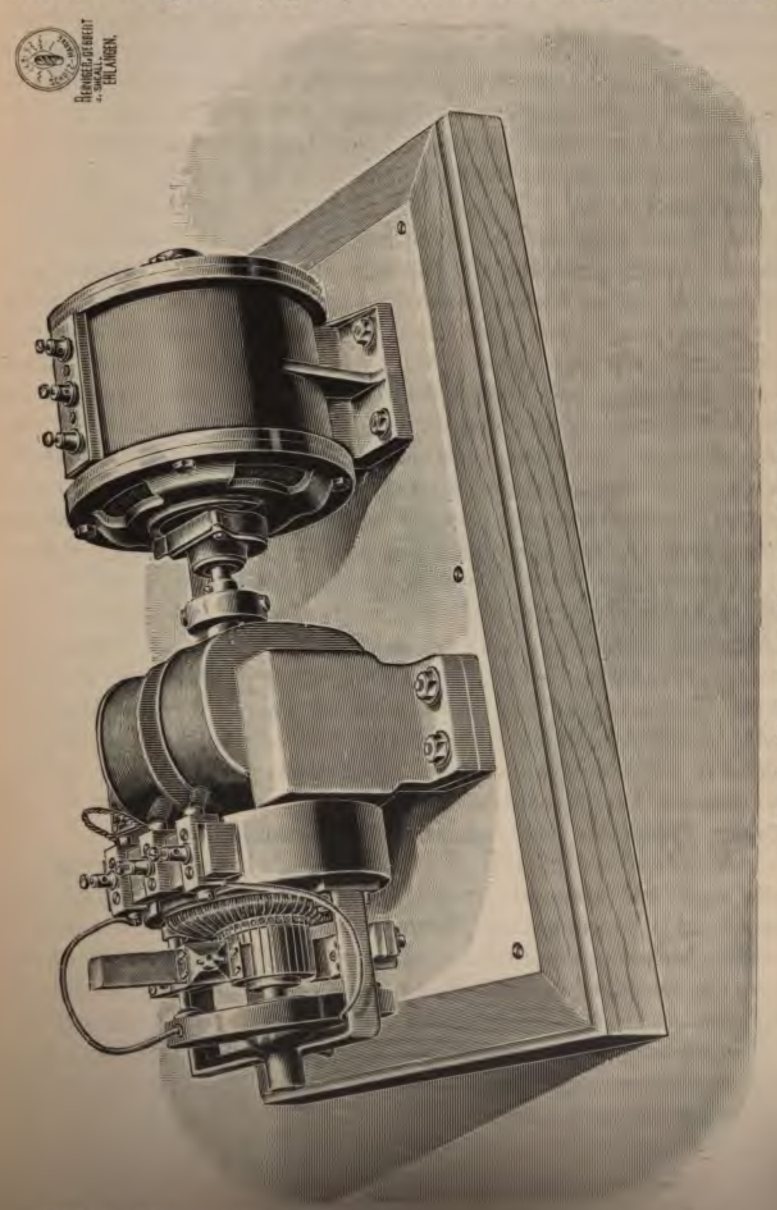


Fig. 24. Wechselstrom-Gleichstrom-Transformer.

tungsnetz aus in einen Elektromotor (auf der Abbildung rechts) ein. Hier wird sie in mechanische Energie umgesetzt. Der Elektromotor seinerseits ist direkt, d. h. an der Achse, mit einer Gleichstrom-Dynamomaschine gekoppelt (links auf der Abbildung), so daß beide Maschinen gleiche Umdrehungszahl haben. Die Dynamomaschine ist passend so konstruiert, daß sie den Strom für die Röntgen-Einrichtung in richtiger Spannungsform liefert, d. h. etwa mit 20 Volt. Diese Dynamomaschine kann also zum Laden der Akkumulatorenbatterie dienen, wobei wohl zu beachten ist, daß ihre Spannung in Volt stets höher sein muß, als die Anzahl der Akkumulatorenzellen, multipliziert mit der höchsten Gegenladespannung pro Zelle. Da die Gegenspannung der Batterie im Laufe der Ladung und namentlich gegen Schluß derselben ansteigt, wird man dafür Sorge zu tragen haben, daß auch die Spannung der Lademaschine entsprechend gesteigert wird. Dies geschieht in den meisten Fällen durch Erhöhung der Tourenzahl oder aber, wo diese konstant ist, durch Veränderung des magnetischen Feldes der Maschine. Unter magnetischem Feld einer Dynamomaschine versteht man denjenigen Bereich der magnetischen Wirksamkeit, welcher durch die unbewegten Drahtwickelungen erzeugt wird und in dem der bewegte Teil auf der Achse, kurzweg Anker genannt, rotiert. Da die elektromotorische Kraft einer Dynamomaschine abhängt von der Anzahl der magnetischen Kraftlinien, welche die Drähte des Ankers in der Zeiteinheit durchschneiden, so sieht man, wie durch Verstärkung des magnetischen Feldes eine Erhöhung der Spannung eintreten kann. Zur Speisung des Feldes wird ein Teil der von der Maschine selbst gelieferten Energie abgezweigt und durch einen in entsprechenden Grenzen regulierbaren Widerstand geleitet. Ein solcher Widerstand, kurz Nebenschlußwiderstand genannt, wird also in den meisten Fällen für eine Ladestation unentbehrlich sein.

Alle diese Komplikationen lassen sich selbstverständlich umgehen, falls man auf eine Akkumulatorenbatterie als Zwischenglied verzichtet und die Röntgeneinrichtung direkt von der Dynamomaschine des Wechselstrom-Gleichstromumformers speist. Indessen ist hierbei wohl zu beachten, daß der Maschinensatz dann den augenblicklichen Anforderungen der Energieentnahme genügen muß und daß eine Umformeranlage für den direkten Betrieb daher stets wesentlich größere Abmessungen haben wird, als für die allmähliche Aufladung der Akkumulatorenbatterie.

3. Die Ladung der Akkumulatoren durch Thermosäulen.

Überall dort, wo Gasleitung vorhanden ist, kann die Ladung der Akkumulatoren auch durch Thermosäulen erfolgen, nur sei bemerkt, daß ein derartiger Betrieb wohl praktisch möglich, aber schon durch die Einrichtungskosten sehr teuer ist. Auch eignet er sich lediglich für kleinere Anlagen, die täglich nur kurze Zeit benutzt werden.

In der Thermosäule wird Wärmeenergie direkt in elektrische Energie nach folgendem Prinzip umgesetzt: Ist ein Kreisleiter aus zwei verschiedenen Metallen zusammengelötet, so entsteht in ihm allemal dann ein elektrischer Strom, wenn zwischen den beiden Lötstellen eine Temperaturdifferenz vorhanden ist, wenn also z. B. die

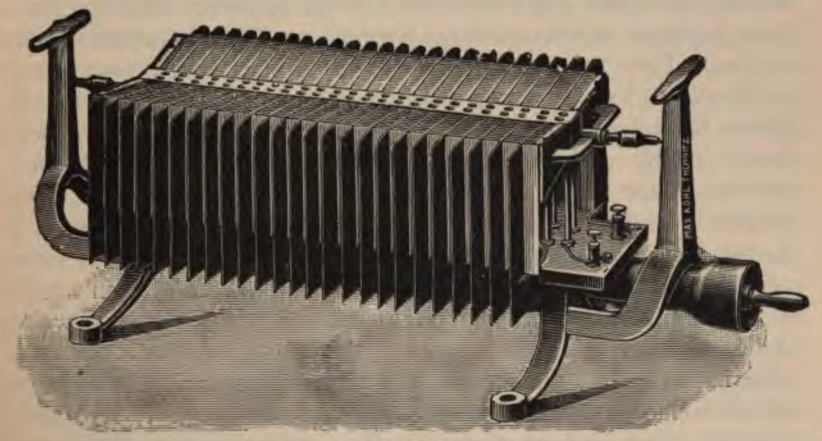


Fig. 25. Gülchersche Thermosäule.

eine durch eine Flamme erhitzt, die andere durch Eis abgekühlt wird. Aber die elektromotorische Kraft eines solchen thermo-elektrischen Elementes ist sehr gering, und es bedarf der Aneinanderreihung vieler Elemente, ehe nur eine Klemmenspannung von 1 Volt erreicht ist.

Man hat vielfach versucht, die Thermo-Elemente zu Säulensätzen anzuordnen; die bekannteren Versuche nach dieser Richtung rühren von Noë und Clamond her. Aber eine praktisch brauchbare Form hat die Thermosäule doch erst durch Gülcher erhalten (Fig. 25). Sie besteht aus 66 Elementen, die einerseits ihre Abkühlung durch Metalllamellen mit sehr großer Oberfläche, andererseits ihre Erwär- rch eine Reihe von Bunsenflämmchen erhalten, die in der

Mitte durch Nickelröhren herausbrennen. Letztere bilden zugleich die eine Elektrodenserie der Säule.

Um die Säule in Betrieb zu setzen, läßt man das Gas kurze Zeit ausströmen und fährt dann mit einem Streichholz langsam über die Brennerröhrchen hin, bis alle Flämmchen brennen, wovon man sich durch Hineinsehen überzeugt. Nach 8–10 Minuten hat die Säule ihre volle elektromotorische Kraft erlangt. Ein Kurzschluß schadet dem Apparat nichts.

Da eine Säule von 66 Elementen eine Klemmenspannung von nur 4 Volt hat, so folgt daraus, daß sie ohne weiteres zur Ladung einer Akkumulatorenbatterie in der von uns angewandten Reihenschaltung nicht tauglich ist. Es müssen daher die Zellen der Batterie zur Ladung nebeneinandergeschaltet werden (vergl. S. 12), derart, daß sämtliche negativen Pole mit der negativen Klemme, sämtliche positiven mit der positiven Klemme der Thermosäule verbunden werden. Eine Vorrichtung, welche diese Umschaltung mit einem Griff erlaubt, Pachytrop genannt, kann man sich leicht auf folgende Weise herstellen. Als Beispiel diene ein Pachytrop für eine Batterie von 3 Zellen. In ein starkes Holzbrett werden mit dem Zentrumbohrer, jedoch nur etwa 1 cm tief, 2 Reihen Löcher gebohrt. Wir wollen die Löcher der ersten Reihe von links beginnend mit 1, 2, 3, die der zweiten, ebenfalls von links gerechnet, mit 4, 5, 6 bezeichnen. Jedes Loch wird mit Quecksilber gefüllt und dann werden 1 und 4 mit den Polen der ersten Zelle, 2 und 5 mit der zweiten Zelle, 3 und 6 mit der dritten Zelle verbunden, so daß die Quecksilbernäpfe 1, 2, 3 positiv, 4, 5, 6 negativ werden. Man übersieht, daß bei einer Verbindung der Näpfe 1, 2, 3, bezgl. 4, 5, 6 sämtliche + Pole und sämtliche — Pole vereinigt, die Zellen also parallel oder nebeneinandergeschaltet sind, und daß eine Hintereinanderschaltung eintritt, wenn die Näpfe 2 und 4 bezgl. 3 und 5 miteinander verbunden werden; 1 und 6 sind in jedem Falle die Endpole der Säule, welche bei Parallelschaltung zur Ladung mit der Thermosäule, bei der Entladung in Hintereinanderschaltung mit dem Induktor verbunden werden. Beide Verbindungsarten werden durch Drahtbügel auf schwächeren Brettchen fertig hergerichtet, so daß es nur des Einsetzens der Drahtstifte des einen oder des anderen Einsatzbrettes in die Quecksilbernäpfe bedarf, um die gewünschte Schaltungsart herzustellen. Es versteht sich wohl von selbst, daß für die Zusammenschaltung mit einem Pachytrop die Verbindung der Zellen miteinander innerhalb des Batteriekastens **gelöst werden müssen, und daß die Thermosäule nie eher an die**

Schlußpole des Pachytrops gelegt werden darf, als bis eine Parallelschaltung der Zellen erfolgt ist.

Kohl in Chemnitz rüstet die zur Ladung mittels Thermosäule bestimmten Akkumulatoren mit einem Pachytrop aus, bestehend aus einer am Batteriekasten befestigten Walze, auf der Kontaktknöpfe die Schaltung vermitteln. Der Strom wird der Walze durch besondere Kontaktfedern zugeführt.

Negative und positive Klemme der Thermosäule werden zur Ladung mit den entsprechenden Endpolen der Batterie verbunden; die Einrichtung ist so getroffen, daß sich die Thermosäule erst dann selbsttätig einschaltet, wenn der Walzenhebel auf Nebeneinanderschaltung gestellt wird. Bei Hintereinanderschaltung ist dagegen der Induktor angeschlossen. Die ganze Vorrichtung wird vorteilhaft in einem kleinen, aufklappbaren Schränkchen untergebracht, welches in seiner oberen Abteilung die Thermosäule, darunter die Akkumulatorenbatterie enthält.

Besitzt die Batterie in Parallelschaltung im Mittel 2 Volt und die Thermosäule 4 Volt Spannung, so kommt für die Ladestromlieferung eine Nutzspannung von 4 — 2 = 2 Volt zur Geltung. Hierbei geben die Gülcherschen Säulen etwa 3 Ampère Stromstärke ab. Wir wollen nach diesen Daten die Ladezeit für eine Akkumulatorenbatterie mit 5 Zellen von 30 Ampèrestunden Kapazität bestimmen. Da jede Zelle im entladenen Zustande etwa 1,7 Volt, im geladenen bis 2,8 Volt Spannung zeigt, so wollen wir annehmen, daß im Mittel eine Spannung von 2 Volt, also auch während der ganzen Ladezeit eine durchschnittliche Ladestromstärke von 3 Ampère herrschen möge. Dann würde eine Zelle zur Ladung 10 Stunden Zeit gebrauchen (3 · 10 = 30 Ampèrestunden), und 5 Zellen in Parallelschaltung 10 · 5 = 50 Stunden. Wird dann die Anlage zum Induktorbetrieb täglich eine Stunde lang mit durchschnittlich 6 Ampère Stromstärke beansprucht, so werden jeder Zelle der Batterie (welche nun hintereinandergeschaltet sind), 6 Ampèrestunden entnommen, die Thermosäule hat also bei Parallelschaltung 6 · 5 = 30 Ampèrestunden zur völligen Wiederladung zu liefern. Da sie 3 Ampère abgibt, so gebraucht sie hierzu 10 Stunden. Dieser Zeitraum wird etwas zu klein veranschlagt sein, da man nur bei völlig entladener Batterie mit einer mittleren Gegenspannung von 2 Volt rechnen kann und diese in dem fingierten Fall höher sein wird. Im allgemeinen kann man aber annehmen, daß eine wie vorstehend beschaffene Batterie bei täglich einstündiger Benutzung am anderen Tage durch die Säule wieder geladen sein wird.

Die Anschaffungskosten einer Säule sind, wie schon erwähnt, ziemlich hohe. Der Gasverbrauch stellt sich auf etwa 2—3 Pfennige pro Betriebsstunde.

Die Aufladung der Akkumulatoren durch Kupronelemente besprechen wir nicht, da sie für den praktischen Betrieb ernstlich nicht in Frage kommt.

Es erübrigt noch, einige Worte über die

C. Krankheiten der Akkumulatoren

insbesondere der transportablen zu sagen. Die weitaus häufigste ist der Bruch der Bleiverbindungen zwischen den Zellen, leicht zu erkennen an dem völligen Fehlen einer Stromabgabe. Man sucht den Bruch auf und verbindet die Enden, indem man einen weichen Kupferdraht fest darum wickelt und eventuell durch einen Klempner noch verlöten läßt. Die völlige Heilung des Schadens durch Bleilötung muß dann bei der nächsten Ladung durch die Fabrik erfolgen.

Eine oder mehrere Zellen nehmen an der Stromlieferung nicht teil, wenn die Spannung nach vollendeter Ladung nicht ihren normalen Betrag zeigt. Es rührt dies meist daher, daß beim Transport zwei benachbarte Platten zur Berührung gekommen sind oder daß aktive Masse aus denselben gebröckelt ist und Kurzschluß gegeben hat. Die betroffene Zelle ist dann völlig entladen; man findet sie heraus, indem man die Drähte eines Glühlämpchens von 2 Volt Spannung, welches die Akkumulatorenfabrik liefert, mit den Polen jeder einzelnen Zelle verbindet und sie so der Reihe nach durchgeht. An der kranken Zelle leuchtet das Lämpchen gar nicht oder doch nur sehr schwach. Man schaltet die Zelle ganz aus, indem man unter Überbrückung derselben die beiden Nebenzellen mit einem starken Drahte direkt verbindet. Die weitere Reparatur muß der Fabrik überlassen werden.

Ein starkes Sinken der Klemmenspannung während der Stromentnahme zeigt entweder an, daß die Batterie dem Ende ihrer Entladung entgegengeht, oder — tritt diese Erscheinung bei frisch geladener Batterie auf — daß eine der Verbindungen zwischen den Zellen zwar nicht durch-, aber doch stark angebrochen ist, oder endlich, daß trotz aller dagegen angewandten Mittel, die an den Bleizuführungen emporgekrochene Säure eine der Stellen, an welche die Klemmendrähte gelötet sind, angefressen

hat. Man erkennt dies Emporkriechen der Säure, gegen welches auf die Dauer kein Lack und kein Anstrich hilft, an der reichlichen Absonderung von schleimigweißem Bleisulfat, welches, immer weiter um sich greifend, schließlich auch die blanken Metallteile der Zuführungsdrähte erfaßt und sie unter Bildung von grünlichem, schwefligsaurem Kupferoxyd angreift. Man achte daher darauf, daß die Metallteile stets gesäubert werden.

Allmählich verdunstet die Säure in den Gefäßen. Man sorge dann dafür, daß eine Nachfüllung mit verdünnter Schwefelsäure erfolgt, deren spezifisches Gewicht der Lieferant vorschreibt. Diese Säure darf weder Arsen, noch Chlor, Eisen, Kupfer oder Salpetersäure enthalten. Sie wird mit destilliertem Wasser verdünnt. Am besten überläßt man das Ersetzen der verdunsteten Säure der Fabrik und begnügt sich im Notfalle damit, nur destilliertes Wasser aufzufüllen.

Ebenso, wie die Aufnahmefähigkeit der Akkumulatoren begrenzt ist, ist es auch ihre Lebensdauer. Den fortdauernden Angriffen der chemisch wirksamen Kräfte sind die Platten auf die Dauer nicht gewachsen, d. h. sie vermögen nur eine begrenzte Zahl von Ladungen und Entladungen auszuhalten. Indem die Umbildung in Bleioxyd resp. in schwammiges Blei immer weiter nach dem Kern der Platten vordringt, lockert sich die innere Struktur, und schließlich fällt die Platte auseinander. Die negativen Platten scheinen lebensfähiger als die positiven zu sein, welche hauptsächlich den eben genannten Einflüssen unterworfen sind; eine Dauer von höchstens 4 Jahren ist für die positiven Platten transportabler Batterien wohl die obere Grenze. Unsachgemäße Behandlung kann natürlich ihr übriges tun, um die Lebensdauer noch wesentlich abzukürzen.

Die nicht fortzuleugnenden Nachteile der positiven Maßeplatten lassen neuerdings die massive Planté-Platte, auch für transportable Zellen, wieder mehr in den Vordergrund treten. Wo es nicht auf äußerste Gewichtsersparnis ankommt, kann ihre Anschaffung nur empfohlen werden.

Fassen wir aus diesem Abschnitt noch einmal die auf die Akkumulatoren bezüglichen wesentlichsten Punkte zusammen, so sind es folgende:

1. Jede Akkumulatorenzelle hat, gleichgültig wie viel Platten sie besitzt, eine Klemmenspannung von im Mittel 2 Volt (Seite 23).
2. Diese Spannung wächst mit jeder hintereinander geschalteten

Zelle um den mittleren Betrag von 2 Volt. Eine Batterie von n Zellen hat mithin 2 · n Volt Klemmenspannung (Seite 22).

3. Gegen Ende der Entladung sinkt die Spannung (zu messen, während aus der Batterie kein Strom entnommen wird), auf 1,8 Volt pro Zelle. Eine Batterie von n Zellen hat dann eine Klemmenspannung von 1,8·n Volt. Dies ist die untere Grenze, bis zu welcher ohne Schaden die Entladung fortgesetzt werden darf (Seite 23).
4. Die Batterie darf nur bis zu einer bestimmten Maximal-Stromstärke, welche für jede Type von der Fabrik vorgeschrieben ist, beansprucht werden. Dieser Stromwert gilt sowohl für die einzelne Zelle, wie für die ganze Batterie, falls die Zellen hintereinandergeschaltet sind; er wächst also nicht mit der Anzahl der Zellen.
5. An jeder Batterie müssen die Pole deutlich bezeichnet sein.
6. Man verbinde niemals die Pole der Batterie direkt durch einen Draht miteinander, etwa um an der Funkenbildung zu sehen, ob sie geladen ist. Durch diesen Kurzschluß werden die Zellen beschädigt. Man benutze vielmehr, um die Stromlieferung der Batterie festzustellen, eine Glühlampe von der Spannung der Batterie, welche man mit den Polen verbindet.
7. Eine Akkumulatorenbatterie muß im Interesse ihrer Erhaltung auch bei Nichtbenutzung etwa monatlich aufgeladen werden.

Praktische Beispiele.

Beispiel 1: Ein Induktor möge zu seinem Betriebe eine Stromstärke von 8 Ampère bei 16 Volt Spannung erfordern. Wieviel Zellen a) einer Chromsäure-Tauchbatterie, b) einer Akkumulatorenbatterie sind erforderlich und welche Größe müssen sie haben?

a) Eine Chromsäure-Zelle hat während der Stromentnahme eine mittlere Spannung von 1,5 Volt (vgl. Seite 19). Folglich ist die Chromsäurebatterie aus 11 Zellen in Hintereinanderschaltung zusammenzusetzen $\left[\frac{16}{1,5} = \text{rund } 11\right]$.

b) Eine Akkumulatorzelle hat eine mittlere Spannung von 2 Volt (vgl. Seite 22); es werden daher 8 Zellen in Hintereinanderschaltung genügen $\left[\frac{16}{2} = 8\right]$.

Bezüglich der Zellengröße ist sowohl bei der Chromsäurebatterie als auch der Akkumulatorenbatterie zu bemerken, daß sie für die ge-

forderte Stromstärke (8 Ampère) ausreichend sein muß. (Bedingung für den Lieferanten.)

Beispiel 2: Es ist zu bestellen eine Akkumulatorenbatterie für eine Betriebsspannung von 12 Volt und eine Stromstärke von 6 Ampère.

Die Anzahl der Zellen ergibt sich aus der Betriebsspannung, dividiert durch die mittlere Zellenspannung $\frac{12}{2} = 6$ Zellen, die Größe aus der geforderten Kapazität (vgl. Seite 20). Bedingung ist, daß die Platten jeder Zelle 6 Ampère Stromstärke dauernd ohne Schaden aushalten. Sollen sie die gewünschte Stromstärke 10 Stunden liefern, so beträgt die Kapazität einer Zelle (und auch der ganzen Batterie, da Hintereinanderschaltung vorliegt) 60 Ampèrestunden, bei 5 Stunden Entladezeit $5 \cdot 6 = 30$ Ampèrestunden u. s. w. Die Gesamtarbeitsleistung der Batterie ist im zweiten Falle 12 (Volt)·6 (Ampère)·5 (Stunden) = 360 Wattstunden (vgl. Seite 11).

Die Bestellung für den Fall 2 hätte etwa zu lauten: Zu liefern eine transportable (oder stationäre) Akkumulatorenbatterie von 6 Zellen (Angabe ob Planté- oder Masseplatten) von 30 Ampèrestunden Kapazität. Garantierte Entladestromstärke 6 Ampère.

Beispiel 3: Eine Akkumulatorenbatterie von 8 Zellen (16 Volt) soll vom Gleichstrom-Lichtleitungsnetz (110 Volt) aus mit einer Stromstärke von 7 Ampère geladen werden. Wieviel Widerstand in Ohm bezw. in Glühlampen, ist vor die Batterie zu legen?

Die auf die Batterie (deren innerer Widerstand bei der Rechnung vernachlässigt werden darf) zur Wirkung kommende Spannung beträgt 110—16 (Gegenspannung der Batterie) = 94 Volt. Gesucht ist der Widerstand, durch den bei 94 Volt die Stromstärke 7 Ampère zustande kommt. Es ist nach dem Ohmschen Gesetz:

$$J = \frac{E}{W} \quad \text{oder} \quad W = \frac{E}{J}; \ \text{folglich} \ W = \frac{94}{7} = 13{,}43 \text{ Ohm}.$$

Es ist mithin für den Widerstand ein Draht (Nickelin, Rheotan etc.) so stark zu wählen, daß er 7 Ampère Stromstärke aushält, ohne glühend zu werden, und er ist dann so lang zu nehmen, bis er einen Widerstand von rund 13,5 Ohm hat (vgl. S. 7).

Den gleichen Widerstand müssen etwa vorgeschaltete Glühlampen haben (vgl. Seite 28). Eine 16kerzige, gewöhnliche Glühlampe besitzt einen Widerstand von etwa 180 Ohm, zwei derartige Lampen in Parallelschaltung $\frac{180}{2} = 90$ Ohm u. s. f. Es sind mithin $\frac{180}{13{,}5} =$ rund 13 sechzehnkerzige Lampen in Parallelschaltung vor die Batterie zu legen. Zu bemerken ist jedoch, daß die Lampen hierbei nur mit 94 Volt und nicht mit ihrer Normalspannung 110 Volt brennen. Die von ihnen hindurchgelassene Stromstärke ist mithin $\frac{94}{110}$ unter der normalen, oder die berechneten 13 Lampen müssen genau genommen auf $\frac{13 \cdot 110}{94} =$ rund 15 Stück vermehrt werden, um 7 Ampère Stromstärke zu erzielen. Praktisch wird diese Korrektur jedoch erst bei zehn- und mehrzelligen Batterien erforderlich.

III. Abschnitt.

Die Induktoren.

A. Allgemeine Bemerkungen über das Prinzip und den Bau der Funkeninduktoren.

Das Ohmsche Gesetz sagt aus, daß die Intensität oder Stärke eines elektrischen Stromes gleich ist seiner Spannung dividiert durch den Widerstand, welchen er in der Leitung findet (vergl. Seite 7).

Da nun die Vakuumröhren zur Erzeugung der Röntgenstrahlen, gleichgültig aus welchen intimeren Ursachen, dem Durchgang des elektrischen Stromes einen enorm hohen Widerstand bieten, so wird zum Betriebe der Röhre eine sehr hohe Spannung erforderlich. Diese Spannung beträgt viele Tausende von Volt. Wollte man sie durch Hintereinanderschaltung von Elementen oder Akkumulatorenzellen erzeugen, so würden die Batterien ins Gigantische wachsen.

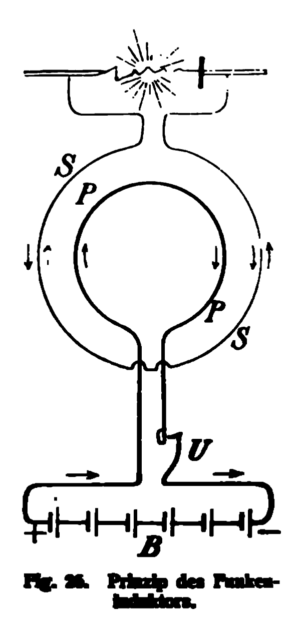


Fig. 26. Prinzip des Funkeninduktors.

Es muß daher der zur Verfügung stehende Strom, welcher meist bei großer Intensität eine nur geringe Spannung besitzt, in einen solchen von hoher Spannung umgeformt (transformiert) werden. Diesen Dienst leisten die mit dem Namen Transformatoren, oder in der Form, in der sie den vorliegenden besonderen Zwecken dienen, mit dem Namen „Induktoren" bezeichneten Apparate. Das Prinzip derselben ist zu bekannt, um hier weitläufig erläutert zu werden.

m Leiter erzeugte elektrische Strom ruft, in den **Entstehens** und **Vergehens**, d. h. also in

dem Moment, wo er geschlossen oder geöffnet wird, in einem benachbarten geschlossenen Leiter einen zweiten Strom wach, den sogenannten „Induktionsstrom“. Dieser Vorgang wird durch Fig. 26 schematisch veranschaulicht. Die Batterie B ist mit einem ringförmigen Drahtleiter verbunden, in dem nach Schließung durch den zwischengeschalteten Unterbrecher U der „Primärstrom“ P in der Richtung der Pfeile umläuft. Er erzeugt hierdurch in dem benachbarten „sekundären“ Kreisleiter S einen Stromstoß, welcher entgegengesetzt, d. h. den ungefiederten Pfeilen nach, verläuft und dem im Augenblick der Unterbrechung des Primärstromes ein zweiter Stromstoß, diesmal aber in gleicher Richtung mit dem Primärstrom (durch die gefiederten Pfeile angedeutet) folgt. Schließt und öffnet man den Unterbrecher in rascher Folge, so entsteht also im Sekundärleiter ein Strom, welcher sich dadurch vom Primärstrom unterscheidet, daß er fortwährend seine Richtung ändert. Man hat es mithin, während in der Primärspule ein intermittierender Gleichstrom läuft, in der Sekundärspule mit einem Wechselstrom zu tun.

Legt man den Sekundärleiter S in viele Windungen, so wird nicht nur in jeder der Windungen die einer einfachen Windung entsprechende elektromotorische Kraft hervorgerufen, sondern die elektromotorischen Kräfte addieren sich auch in derselben Weise wie bei hintereinandergeschalteten Elementen (vergl. Seite 11). Die im Primärleiter geopferte elektrische Energie kommt — mit entsprechenden Verlusten — im Sekundärleiter wieder zum Vorschein, nur hat sie die erwünschte Form höherer Spannung angenommen. Da die elektrische Energie sich darstellt als das Produkt aus Spannung mal Stromstärke und nach dem bekannten Gesetz von der Erhaltung der Energie auf keine Weise Energie gewonnen werden kann, folgt natürlich, daß auch bei dem Transformationsprozeß im Funkeninduktor die Erhöhung der Spannung nur auf Kosten der Stromstärke geschehen kann. Die Spannung des Primärstromes steht zu der des Sekundärstromes ungefähr im Verhältnis der Windungszahlen der Primär- und Sekundärwickelung. Aufgabe der Praxis ist es, die Art der Wickelungen zur Erzielung eines hohen Transformationsnutzeffektes geeignet zu gestalten und für den besonderen Zweck die Faktoren des Produktes Stromstärke mal Spannung so zu wählen, daß die Wirkung auf die Röntgenröhre ein Maximum wird.

Diese und andere Anforderungen, welche hier nicht erläutert zu werden brauchen, haben den Induktoren mit der Zeit die a[illegible] r Abbildung (Fig. 27) ersichtliche Gestalt gegeben.

Die Primärspule besteht der großen Stromstärke der verwendeten Ströme wegen aus nur wenigen Lagen eines starken Drahtes; sie enthält in ihrem Innern zur Verstärkung der induzierenden Wirkung ein Bündel weicher Eisendrähte, das rechts und links aus der Walze hervorragt. Um diese Primärspule ist in



Fig. 27. Einfacher Funkeninduktor mit Hammer-Unterbrecher.

vielen Lagen sehr dünnen und wegen der hohen Spannung aufs beste isolierten Drahtes die Sekundärspule gewickelt, deren freie Enden mit den beiden auf dem Induktor sichtbaren, hohen Polklemmen verbunden sind.

Ein Mantel von Hartgummi schützt das Ganze.

Die Unterbrechungen des primären Stromkreises werden automatisch bewirkt, auf unserer Abbildung durch einen Platinunterbrecher.

Fig. 28 zeigt eine schematische Darstellung der Unterbrechervorrichtung. (Die Wickelungen der sekundären Spule sind, als für die folgenden Betrachtungen überflüssig, aus den schematischen

Zeichnungen fortgelassen.) Der Eisenkern M wird von dem Primärstrom umkreist, welcher der Batterie B entstammt. Er ist gezwungen, auf seinem Wege einen Apparat mit folgender Einrichtung zu passieren (vergl. auch Fig. 27). An einer Messingsäule K ist eine Stahlfeder F befestigt, welche an ihrem Ende ein weiches Eisenstück E und außerdem, noch weiter der Mitte zu, ein Platinklötzchen P_1 trägt. Diesem steht ein zweites gleiches Klötzchen P_2 gegenüber, das sich dem ersten durch eine Schraube S, an der es befestigt ist, nähern läßt. Die Messingsäule D verleiht dieser Schraube den Halt.

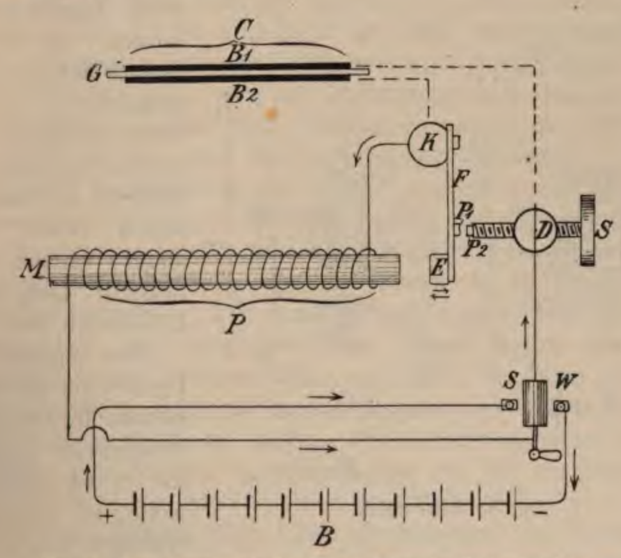


Fig. 28. Zum Verständnis der Konstruktion des Funkeninduktors.

Man übersieht nun leicht den Verlauf des Stromes. Er möge in der Richtung der Pfeile fließen und zunächst, von der Batterie kommend, in die Säule D eintreten und seinen Weg durch die Metallschraube S bis in das Platinstück P_2 finden. Durch Heranschrauben der Schraube S bietet sich ihm der Übergang zum Platinstück P_1, von wo aus er durch die Feder F, die Säule K und durch die Primärwindungen um den Eisenkern wieder zur Batterie zurückfließt. Im Augenblick des Stromschlusses wird der weiche Eisenkern M zu einem Magnet und zieht das an der Feder sitzende Eisenstück E zu sich heran. Hierdurch trennen sich die Platinstüc[k]
[u]nd P_2 voneinander und der Strom wird unterbrochen. Sofo[rt]

verschwindet der Magnetismus des Eisenkernes, die Feder F schnellt wieder zurück und stellt einen neuen Stromschluß her, welcher seinerseits wiederum bewirkt, daß das Eisenstück E (der „Anker“), angezogen wird und eine weitere Unterbrechung veranlaßt u. s. f. Der Primärstrom unterbricht sich also selbst, indem sich das geschilderte Spiel in rascher Folge wiederholt. Die Zahl der Unterbrechungen in der Zeiteinheit (Sekunde) hängt ab von der Länge und Spannung der Feder und der Masse des Ankers.

Bisher hat die Vorrichtung SW, welche der Strom auf seinem Wege zum Unterbrecher und zur Primärspule durchsetzt, noch keine Erwähnung gefunden. Sie dient der Bequemlichkeit und ermöglicht es, mit einem Griff die Stromrichtung zu ändern, ohne die an die Pole der Batterie gelegten Drähte miteinander vertauschen zu müssen. Dies ist unter Umständen von Vorteil.

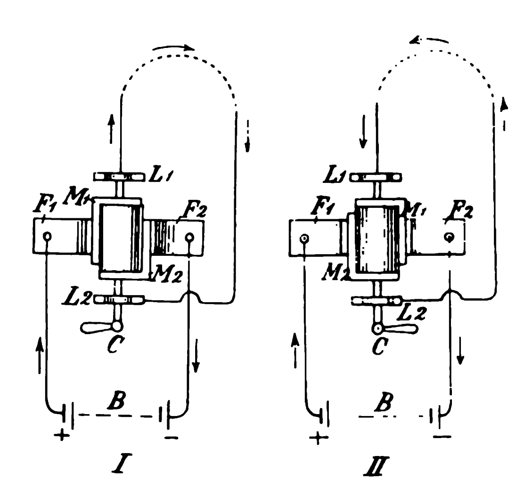


Fig. 29. Stromwender.

Der Apparat ist in Fig. 29, mit welcher man gleichzeitig auch die perspektivische Darstellung auf S. 44 vergleichen wolle, in vergrößertem Maßstabe schematisch dargestellt. Man betrachte zunächst die Zeichnung I.

In den Metalllagern L_1 und L_2 läßt sich durch den Hebelgriff C eine Walze drehen, welche aus einem, den Strom nicht leitenden Material, meist aus Hartgummi, angefertigt ist. Mit Ausnahme dieser Walze und des Griffes sind alle anderen Teile stromleitend, d. h. sie bestehen aus Metall. Auf die Hartgummiwalze sind, einander gegenüber, zwei Messingwinkelstücke M_1 und M_2 geschraubt, welche sich an keiner Stelle berühren dürfen. Gegen diese schleifen die Kupferfedern F_1 und F_2.

Der Strom möge von dem positiven Pole der Stromquelle aus
mme der Feder F_1 eintreten. Man übersieht, daß er
kelstück M_1 und die leitende Achse zum Metall-
der Richtung des aufsteigenden Pfeiles zur Ver-

wendungsstelle fließt, um in der Richtung des absteigenden Pfeiles durch das Lager L_2, Winkelstück M_2 und die Feder F_2 zum positiven Pole der Batterie zurückzukehren.

Durch Umlegen des Hebelgriffes C nach rechts wird die Walze um 180° gedreht (Darstellung II). — Hierdurch haben bei sonst unveränderten Verhältnissen die Winkelstücke M_1 und M_2 ihren Platz miteinander vertauscht, indem jetzt M_2 links und M_1 rechts liegt. Der Strom läuft nun von der Feder F_1 durch M_2 nach dem Lager L_2, dann mit dem aufsteigenden Pfeile zur Verwendungsstelle und von dort mit dem absteigenden Pfeile L_1, M_1, F_2 zur Batterie zurück. Er hat seine Richtung gewechselt. Auf unseren Fall der Verbindung des „Stromwenders" mit dem Induktor angewendet, würde das bedeuten, daß der Strom, wenn er bei der einen Stellung des Stromwenderhebels zuerst den Unterbrecher und dann die Primärspule durchfließt, er bei einer Drehung desselben um 180° zuerst die Primärspule und dann den Unterbrecher durchsetzt.

Wird der Stromwender nur um 90° gedreht (Hebel nach oben), so haben die Federn die Metallstücke M_1 und M_2 verlassen und stehen der isolierenden Hartgummiwalze gegenüber, ein Stromübergang kann nicht stattfinden und die Batterie ist als vom Induktor abgeschaltet anzusehen. Der Stromwender ist also gleichzeitig auch „Ausschalter", und man achte beim Ankauf darauf, daß er sich hinreichend streng bewegen läßt, um nicht bei einer zufälligen leichten Berührung oder gar durch Umfallen des Hebels unvorhergesehenen Stromschluß zu geben. Hat der Stromwender statt des Hebelgriffes eine Kordel, so bringe man auf ihr ein Zeichen an, welches die Stellung jederzeit erkennen läßt.[1])

Von der richtigen Wahl der Abmessungen der Primär- und Sekundärspule, des Eisenkerns, des Unterbrechers und des Kondensators ist die Leistungsfähigkeit eines Induktors abhängig. Der Kondensator wurde bisher noch nicht erwähnt; er ist notwendig durch das eigentümliche Verhalten der Primärspule.

Jeder elektrische Strom induziert beim Entstehen und Verschwinden in einem benachbarten Leiter einen zweiten Strom. Nun ist aber der Primärspule nichts so sehr benachbart als sie selbst, woraus folgt, daß auch in ihr im Augenblick des Schlusses und

[1]) Die beschriebene Form des Stromwenders ist die allgemein gebräuchliche; Abweichungen kommen jedoch vor, z. B. bei dem Kommutator der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft-Berlin, der aus vier in einer Ebene liegenden Ringsegmenten besteht, von denen je zwei diametral angeord- ch eine federnde und drehbare Metallbrücke verbunden werden.

der Unterbrechung des Primärstromes oder Hauptstromes ein Neben- oder Extrastrom induziert wird, der in ersterem Falle dem Hauptstrom entgegengesetzt, in letzterem mit ihm gleichgerichtet ist, oder, was dasselbe sagen will, der ihn bei seinem Entstehen schwächt und bei seinem Verschwinden verstärkt. Trotz dieser letzteren Eigenschaft macht sich die Erscheinung, welche man als Selbstinduktion bezeichnet hat, recht lästig; denn sie unterdrückt nicht nur die Wirkung, welche der Stromschluß auf die Sekundärrolle haben müßte, fast völlig, sondern bewirkt auch beim Öffnen des Hauptstromes ein starkes Funken des Unterbrechers, das sein Material angreift und außerdem die Exaktheit der Unterbrechung wesentlich beeinträchtigt.

Man legt deshalb an die Seiten der Unterbrechungsstelle eine Vorrichtung *C* (Fig. 28), welche die Bestimmung hat, beim Öffnen des Unterbrechers den Extrastrom in sich aufzunehmen und unschädlich zu machen. Sie ist im wesentlichen nichts anderes als eine Leydener Flasche, deren Beläge die Ladung auf ihrer Oberfläche kondensieren. Aus praktischen Gründen hat man jedoch die Flaschenform aufgegeben und baut die Kondensatoren so, daß man einen nichtleitenden Körper *G* (ein Dielektrikum), meist Glas, Paraffin, Papier, Glimmer u. s. w. in Tafelform beiderseits mit Stanniolblättern B_1 und B_2 bekleidet und mit dem Unterbrecher verbindet. Diese Angaben mögen über Zweck und Wirkungsweise der Vorrichtung genügen, nur so viel mag noch gesagt sein, daß der praktische Betrieb Kondensatoren erfordert, die zwecks Vergrößerung ihrer Oberfläche aus mehreren übereinander gelagerten Plattenschichten der beschriebenen Art bestehen. Der Platzersparnis wegen ordnet man sie zweckmäßig in dem kastenartigen Fußgestell an, auf dem die Induktorspule ruht.[1])

Durch die Tätigkeit des Unterbrechers wird der Primär- oder Hauptstrom zu einem intermittierenden, indem er von dem Betrage *O* (beim Öffnen des Unterbrechers) bis zu einem Maximum (beim Schluß desselben) wächst. Vibriert der Unterbrecher, so wird ein Meßinstrument, das seiner Masse wegen den Stromschwankungen so schnell nicht folgen kann, sich zwischen Null und dem Maximalbetrag auf einen Mittelwert einstellen, der als Berechnung für die Leistungs-

---

[1]) Die Wirksamkeit eines Kondensators wächst nicht immer mit seinen Abmessungen, sondern hängt wesentlich ab von einem richtigen Größenverhältnis zur Primärspule. Man sagt, der Kondensator müsse auf den Induktor abgestimmt [illegible] wie der Resonanzkasten auf die Schwingungen d[illegible]

fähigkeit der Stromquelle zu Grunde gelegt wird. (Vergl. den Abschnitt II S. 22.) Die Stromquelle muß diesen Strombetrag ohne Überanstrengung liefern können. Um zeitraubende Versuche zu vermeiden und die Batterien zweckentsprechend belasten zu können, achte man daher darauf, daß jedem Induktor die Angabe der Betriebsstromstärke bei „schwingendem Hammer“, sowie die der erforderlichen Spannung, am besten auf einem am Instrument selbst befestigten Täfelchen, beigegeben wird.

b) Die Inbetriebsetzung und Beaufsichtigung der Induktoren.

Der Anschluß der Stromquelle an den Induktor erfolgt unter Zwischenschaltung eines Regulierwiderstandes und einer Bleisicherung an die Klemmen des Stromwenders, welcher zunächst noch geöffnet ist (vergl. Abschnitt VI). Spitze und Platte werden in die hohen Klemmen der negativen Spule auf dem Induktor eingeschoben. Zur Einstellung der Funkenlänge ist die Stange, welche in einer Spitze endigt, in Centimeter eingeteilt; sie wird so weit durch ihre Klemme hindurchgeschoben, daß der Nullstrich mit letzterer abschneidet. Von der anderen Seite wird die Platte bis zur Berührung mit der Spitze vorgerückt und festgestellt. Durch Zurückziehen der Spitze werden dann die Schlagweiten hergestellt, die man an der Einteilung direkt ablesen kann.

Es möge für den ersten Versuch eine Funkenlänge gewählt werden, die etwa ein Drittel der maximal für das Instrument zulässigen beträgt. Die Stromstärke wird durch Einschalten von Regulierwiderstand zunächst klein gewählt, darauf der Stromwender durch Umlegen nach irgend einer Seite geschlossen und der Hammer durch Heranschrauben des Platinkontaktes, eventuell unter Anstoßen der Feder, in Gang gebracht. Sofort durchbricht der hochgespannte Sekundärstrom den Widerstand der Luft in Form eines zackigen, laut prasselnden Funkenbüschels zwischen Spitze und Platte. Ist dies nicht der Fall oder sind die Funken vereinzelt, so legt man den Stromwender nach der anderen Seite um und wird dann die erwähnte Erscheinung erhalten, falls der Primärstrom überhaupt schon stark genug gewählt war, um einen Funkenübergang bei der eingestellten Schlagweite zu ermöglichen. Durch stufenweises Ausschalten von Widerstand und Wiederholen des Versuches wird man sich jedenfalls bald überzeugen, daß eine der beiden Stellungen des Stromwenders vor der anderen den Vorzug ausgiebigerer Funkenlieferung hat. Dieselbe wird notiert und ist allemal die richtige, solange an der Schaltung der Stromquelle gegen die Klemmen des

Stromwenders nichts geändert wird. Man merkt sich daher auch, welcher Pol der Stromquelle in die rechte oder linke Stromwenderklemme eingeführt ist, um spätere Zeitverluste durch Vorversuche zu vermeiden. (Über das Erkennen der Batteriepole, falls dieselben nicht bezeichnet sein sollten, siehe Abschnitt II S. 26 und Abschnitt VI unter Polsucher.)

Fig. 30 *a* zeigt das Funkenbild bei falscher, *b* bei richtiger Stellung des Stromwenders. Obschon der Funkenstrom besonders bei nicht zu hohen Schlagweiten durch die erhöhte Leitungsfähigkeit der aufsteigenden erhitzten Luft von der Spitze aus etwas nach oben getrieben wird, schlagen doch im allgemeinen die Funken bei richtiger Stromwenderstellung mehr auf die Mitte der Platte über, während sie anderenfalls deutlich an dem scharfen Rand der Platte ansetzen.





Fig. 30. Unterscheidung der Stromrichtung am Induktor.

Die Spitze soll bei richtiger Schaltung zur Anode (+) und die Platte zur Kathode (—) werden.

Man wird nun nicht unbegründet den Einwurf machen, daß von einer Anode und einer Kathode, also von einer Polarität der sekundären Spule nicht wohl die Rede sein könne, da, wie bereits auf Seite 43 ausgeführt ist, ein Wechselstrom induziert wird, der naturgemäß auch einen fortdauernden Wechsel der Polarität zur Folge hat, derart, daß die Kathode zur Anode, die Anode zur Kathode wird u. s. w. In der Tat wird auch im Sekundärkreis ein Wechselstrom hervorgerufen, aber der Stromstoß, welcher in 1 durch Öffnen des Primärkreises in die Erscheinung tritt, ist durch Schließen desselben entstandenen an Spannung bedeutend egen, da, wie wir wissen, der Selbstinduktionsstrom in der rspule dem Schließungsstrom entgegengesetzt ist und seine

Wirkung auf die Sekundärwickelung abschwächt. Ist in diese eine Funkenstrecke oder Vakuumröhre, also ein Widerstand, eingeschaltet, so vermag nur der Öffnungsstrom der Primärwickelung in der sekundären einen Stromstoß von genügender Spannung zu induzieren, um den Luftwiderstand in Gestalt eines Funkens zu überwinden; der in entgegengesetzter Richtung verlaufende Stromstoß, vom Stromschluß der Primärspule herrührend, wird in Bezug auf die Entladung zwischen Spitze und Platte völlig unterdrückt. Die Erklärung der ausgeprägten Polarität berechtigt hiermit, von einem negativen und positiven Pole der Sekundärspule, also von einer Kathode und Anode zu sprechen.

Versagt, „klebt" der Unterbrecher unter Glüherscheinung, so liegen die Platinstücke gegeneinander und es entsteht eine Stromstärke, welche für Spule und Batterie gleich verderblich werden kann. Man bringt in solchen Fällen durch Regulierung der Stellschraube und durch Anstoßen der Feder den Unterbrecher unverzüglich wieder in Gang, resp. schaltet man sofort den Stromwender aus. Näheres über die Behandlung der Unterbrecher im Abschnitt IV.

c) Die Leistung der Funkeninduktoren.

Es ist hier vielleicht angezeigt, einige Worte der Aufklärung über die Leistungsfähigkeit der Induktoren zu sagen. Man muß vorausschicken, daß es ungerechtfertigt ist, sie, wie es so oft geschieht, nach der Schlagweite allein zu beurteilen. Die Induktoren teilen das Schicksal der großen Fernrohre, welche der Laie ebenfalls nur nach ihrer Länge und ihrer Vergrößerung zu schätzen gewohnt ist. Und doch sind es gerade andere, qualitative Eigenschaften, die erst in der schwer erreichbaren Vereinigung mit den genannten den Wert eines Fernrohres ausmachen. So hängt auch die Leistungsfähigkeit eines Dampfkessels nicht allein von der Spannung ab, unter der in ihm der Dampf steht, sondern von der Dampfmenge, die er bei dieser Spannung liefert, die Leistung eines Gewässers nicht allein von der Höhe, aus welcher es herabkommt, sondern auch von der Wassermenge, welche aus dieser Höhe zu Tale fließt. Auf unseren Fall übertragen, will das bedeuten: Derjenige Induktor ist der leistungsfähigere, welcher bei gleicher Spannung (Schlagweite) die größere Strommenge liefert oder, mit anderen Worten, welcher die größere Energiemenge abgibt, denn diese stellt sich dar als das Produkt aus Spannung mal Stromstärke (vergl. Abschnitt I).

Nimmt man, um ein Beispiel zu wählen, an, daß ein Induktor

von 50 cm Schlagweite die Stromstärke 1 und ein anderer von 30 cm Funkenlänge die Stromstärke 2 gibt, so ist offenbar der zweite dem ersten in der Leistung überlegen, denn er liefert eine größere Energiemenge ($2 \cdot 30 = 60$) als der erste ($1 \cdot 50 = 50$). Wir machen hierbei noch die Voraussetzung, daß die Spannung proportional der Funkenlänge ansteigt, was in Wahrheit nicht der Fall ist, da die Schlagweite schneller wächst als die Spannung. Hiernach würde sich die Berechnung für die Leistung des größeren Apparates noch ungünstiger gestalten. Denn der Effekt einer Röntgenröhre wächst mit der Stromstärke und nur insofern indirekt auch mit der Spannung, als dieselbe dazu dient, eben eine größere Stromstärke durch die Röhre, bildlich genommen, hindurchzupressen, vorausgesetzt, daß der Induktor geeignet ist diese Stromstärke überhaupt zu liefern. Das hängt ab von der Energie des Primärstromes und von dem Güteverhältnis der Transformation.

Beträgt beispielsweise die Spannung des Primärstromes 20 Volt und die Stromstärke 8 Ampère, wird dem Induktor also eine Energie von $8 \cdot 20 = 160$ Volt-Ampère oder Watt zugeführt und soll die effektive Spannung an den Polen der Sekundärspule zur Überwindung des Röhrenwiderstandes sagen wir 100000 Volt betragen, so kann dabei höchstens eine Effektiv-Stromstärke von 0,0016 Ampère zustande kommen, denn 100000 Volt mal 0,0016 Ampère ergeben 160 Watt.

Das ist ein Nutzeffekt von 100 Proz., ein natürlich nur theoretisch möglicher Gütewert, welcher praktisch aus konstruktionellen Gründen auch nicht annähernd erreicht werden kann.[1]) Eben dieser erreichbare Nutzeffekt aber, welcher von der mehr oder minder glücklichen Wahl zahlreicher Faktoren abhängig ist, macht die Leistungsfähigkeit eines Induktors aus, im Verhältnis zu seiner Größe oder sagen wir nun, ohne Furcht vor einem Mißverständnis, im Verhältnis zu seiner Schlagweite.[2])

Wählt man, wie es z. B. bei den Induktortypen der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft geschehen ist, für alle Größen eine nahezu

[1]) Der Funkeninduktor ist in der Tat gegen die Transformatoren der Wechselstromtechnik ein sehr unvollkommener Apparat. Sein Nutzeffekt dürfte bestenfalls 80% erreichen. Neben der sinngemäßen Verteilung der Kupfermengen bilden die Vermeidung der Stromwärmeverluste, die zweckmäßige Unterteilung und Abmessungen der Eisenmassen, ferner die richtige Führung der magnetischen Kraftlinien die Grundbedingungen für eine gute Induktorkonstruktion.

[2]) Näheres über die zweckmäßige Bauart der Induktoren findet der Leser u. a. [illegible] [illegible]z von Walter, Prometheus, Oktober 1899.

konstante primäre Stromstärke — etwa 3 Ampère —, so erscheint die Sekundärspannung der Primärspannung direkt proportional, die Funkenlänge wächst jedoch entsprechend schneller als die Spannung. Folgende Tabelle zeigt eine demonstrative Zusammenstellung dieser Verhältnisse.

Spannung der Betriebsbatterie	Zellenzahl	Funkenlänge des Induktors
Volt		cm
16	8	18
18	9	23
20	10	28
24	12	33
28	14	43
32	16	54
40	20	65
48	24	75
u. s. w.	u. s. w.	u. s. w.

Es möge an dieser Stelle noch besonders darauf hingewiesen sein, daß über die angegebene maximale Spannungsleistung (Funkenlänge) ohne Gefahr für die Isolation ein Induktor nicht beansprucht werden darf. Man arbeitet daher niemals mit offener sekundärer Spule, auch nicht bei eingeschalteter Vakuumröhre, sondern sorgt stets für das gleichzeitige Vorhandensein einer auf den maximalen Betrag eingestellten Funkenstrecke, um im Fall des plötzlichen Versagens der Röhre hier dem Strom einen Übergang zu bieten.

Zeigt sich die maximale Funkenlänge bei normaler Spannung und Intensität des Primärstromes und bei einwandfreiem Arbeiten aller Nebenapparate plötzlich beträchtlich vermindert, so kann man daraus schließen, daß eine Isolationsverletzung eingetreten und die Spule durchschlagen ist. Eine durchgreifende und kostspielige Reparatur ist dann nicht zu umgehen.

Das Augenmerk der Konstrukteure richtet sich daher auf Herstellung einer undurchschlagbaren Isolation, besonders zwischen der Primär- und Sekundärspule, oder doch wenigstens auf eine Ausführung, welche eine schnelle und billige Ausbesserung des Schadens ermöglicht. Levy-Berlin z. B. macht das Hartgummirohr zwischen den beiden Wicklungen auswechselbar und glaubt hierdurch eine Demontage des ganzen Apparats im Falle einer Isolationsverletzung vermeiden zu können.

d) Induktoren für besondere Zwecke.

Die Erfindung des Wehnelt-Unterbrechers und insbesondere seine Abhängigkeit von den induktiven Größen des Funkeninduktors hat eine nicht unbeträchtliche Umwälzung im Bau der modernen Induktoren mit sich gebracht. Nicht nur, daß man der Isolation



Fig. 31. Induktor mit Induktions-Kommutator und Wehnelt-Unterbrecher.

der Sekundärspule eine erhöhte Aufmerksamkeit gewidmet hat, auch die Primärwicklung ist unter den neuen, an sie gestellten Anforderungen eine wesentlich andere geworden. So bauen z. B. Kohl in Chemnitz u. a. eine Primärspule mit 4 getrennten Wicklungen, die durch eine einfache Vorrichtung entweder sämtlich hintereinander,

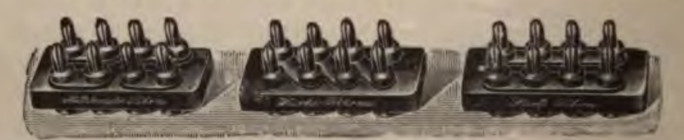


Fig. 32. Einzelheiten des Induktions-Kommutators.

in zwei parallelen Gruppen hintereinander oder endlich sämtlich parallel geschaltet werden können. Bei Hintereinanderschaltung ist die Selbstinduktion am größten, sie nimmt bei den anderen Schaltungen entsprechend ab, während gleichzeitig die Stromintensität erhöht wird. Es soll bei Besprechung des Wehnelt-Unterbrechers (siehe diesen) gezeigt werden, welche Vorteile hieraus für den praktischen Betrieb entspringen.[1]) Fig. 31 zeigt die Gesamteinrichtung Fig. 32 die Einzelheiten der Schaltung.

[1]) B. Walter, Fortschritte a. d. Gebiete der Röntgenstrahlen IV, S. 52, 1900/1901.

Die sich aus diesem Abschnitt ergebenden Sätze und Nutzanwendungen sind kurz folgende:

1. Jeder Strom ruft im Augenblick, wo er geschlossen wird, in einem benachbarten Leiter einen Induktionsstrom in entgegengesetzter Richtung, wenn er geöffnet wird, einen solchen in gleicher Richtung wach (Seite 42).
2. Diese Erscheinung wird in den Induktoren benutzt zur Transformation von Strömen niedriger Spannung und großer Stromstärke in solche von großer Spannung mit entsprechend verminderter Stärke.
3. Der induzierte, hochgespannte Strom ist in der Anlage ein Wechselstrom, dessen schwächere Phase jedoch unterdrückt wird. Mithin ist der Nutzstrom als intermittierender Gleichstrom von wechselnder Intensität zu bezeichnen (Seite 50).
4. Die Stellung des Stromwenders ist nicht gleichgültig; sie ist nach Seite 49 zu ermitteln und für dieselbe die richtige Verbindung mit der Batterie anzumerken.
5. Der Induktionsstrom geht von der Anode (Spitze) zur Kathode (Platte) (Seite 50).
6. Zur Sicherung des Induktors gegen Isolationsverletzungen ist der Vakuumröhre stets eine Funkenstrecke parallel zu schalten (Seite 53).
7. Der Induktor darf nicht über die maximale Funkenlänge beansprucht werden.
8. Bei der Gefährlichkeit hochgespannter Ströme versteht es sich von selbst, daß stromführende Leiter während des Betriebes nicht berührt werden dürfen.

IV. Abschnitt.

Die Unterbrecher für Gleich- und Wechselstrom.

a) Allgemeines über die Unterbrecher.

Die Konstruktion des Unterbrechers, dessen Aufgabe im vorigen Abschnitt kurz skizziert wurde, ist für die Leistung des Funkeninduktors von ausschlaggebender Bedeutung. Mit einem schlechten Unterbrecher wird selbst der bestgebaute Induktor zu einem unbrauchbaren Instrument, während andererseits ein guter Unterbrecher die Leistungen eines mittelmäßigen Induktors nicht unbeträchtlich erhöhen kann. Seit mit dem Beginn der Röntgenpraxis — wenn einmal das unschöne, aber bequeme Wort gestattet ist — das Bedürfnis nach guten Unterbrechervorrichtungen entstand, haben Wissenschaft und Technik mit Erfolg an der neuen Aufgabe gearbeitet. Unter ihren Bemühungen wurde der moderne Unterbrecher zu einem selbständigen Glied der Röntgenanlage. Seine Würdigung erfordert einen besonderen Abschnitt.

Wird der Strom in der Primärspule des Induktors durch den Unterbrecher geschlossen, so erreicht er nicht im Augenblick seine volle durch Spannung und Ohm'schen Widerstand des Leitungskreises bedingte Intensität. Er erfährt vielmehr eine Dämpfung durch den von ihm in der Primärspule selbst hervorgerufenen Extrastrom, dessen elektromotorische Kraft der seinen entgegengerichtet ist. Insbesondere bei Spulen mit vielen Windungen und einem starken Eisenkern wächst so der Primärstrom erst allmählich bis zu seiner vollen Stärke an. Das kann bei kleineren Instrumenten etwa eine hundertstel Sekunde dauern, bei größeren entsprechend länger, unter allen Umständen aber darf dieser besondere Umstand bei der Konstruktion der Unterbrecher nicht übersehen werden, besonders bei denen mit hoher Frequenz nicht. Am [illegible] sich die Verhältnisse durch Kurven darstellen (Fig. [illegible] Verständnis zunächst bemerkt sein mag, d

Höhen, die dazugehörigen Zeiten als Strecken auf der horizontalen Achse von links nach rechts aufgetragen sind. Die Kurven selbst veranschaulichen die Änderungen der Stromstärke. Es möge sich zunächst um einen gewöhnlichen Hammerunterbrecher handeln, wie er im vorigen Abschnitt geschildert wurde (Darstellung *A* der Fig. 33). Beim Stromschluß steigt die Stärke des Primärstromes an, nicht plötzlich, sondern allmählich, sie entwickelt sich gleichsam bis zu ihrer vollen Höhe auf dem Kurvenstück *o—a*. Die Frequenz des Unterbrechers möge ihr dazu Zeit lassen, d. h. die Unterbrechung möge nicht eher erfolgen, als bis das Maximum (erkenntlich am horizontalen Umbiegen der Kurve) erreicht ist. Dann öffnet der Unterbrecher, und die Stromstärke würde im Augenblick auf den Betrag *o* herabsinken, falls nicht am Unterbrecher ein besonderes Phänomen aufträte. Zwischen den sich von einander entfernenden

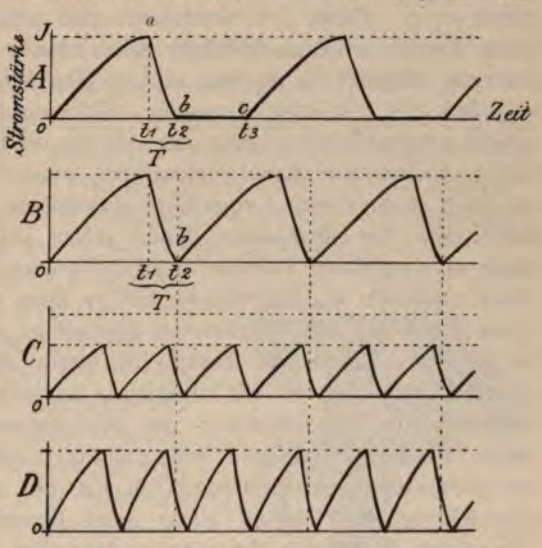


Fig. 33. Zum Verständnis des Unterbrecher-Vorganges.

Platinkontakten erscheint nämlich eine Strombrücke aus erhitzten, leuchtenden Metallteilchen bestehend. Der Unterbrecher „funkt", wie man in der Praxis sagt, und dieser Umstand bewirkt, daß die Stromstärke mit merklichem Zeitverbrauch auf ihren Nullwert herabgeht. Es möge dabei — wie auch in der Figur angedeutet — die Zeit $t_2 - t_1 = T$ verstreichen. Dieser Zeitabschnitt ist von ganz besonderem Interesse, da ihn der Konstrukteur des Unterbrechers aus folgenden Gründen so klein als möglich zu machen sucht.

Es wurde bereits im vorigen Abschnitt auseinandergesetzt, daß bei einem Funkeninduktor nur die Phase der Öffnung des Primärstromes induktiv auf die Sekundärspule zur Wirkung kommt, und zwar ist die Spannung des Sekundärstromes um so größer, je schneller und von je größerer Höhe die Primärstromstärke auf ihren ... [illegible] ...rd also bestrebt sein müssen, den Ab-

fall der Kurve *a—b* so steil als möglich, den Quotienten $\frac{J}{T}$ so groß als möglich zu gestalten.[1]) Diesem Anspruch genügt z. B. der Wehnelt-Unterbrecher in fast vollkommener Weise.

Bei einem Hammerunterbrecher und bei allen Unterbrechervorrichtungen nach demselben Prinzip vergeht außerdem eine gewisse Zeit, bis auf eine Stromunterbrechung der Beginn eines neuen Stromschlusses folgt — dargestellt in der Kurve durch das horizontale Stück *b—c*. Diese Zeit verstreicht also nutzlos, da während ihr keine Energie in den Induktor tritt. Man wird sie ebenfalls so kurz als möglich zu machen suchen (Darstellung *B* der Figur).

Mit der erhöhten Frequenz (Schwingungszahl) eines Unterbrechers verschwinden nicht nur die für die Beobachtung so störenden Lichtstöße auf dem Leuchtschirm, sondern es wird dem Induktor auch mehr Energie zugeführt, wenigstens unter geeigneten Verhältnissen. Im allgemeinen dauert schon bei einem gewöhnlichen träge schwingenden Hammerunterbrecher der Stromschluß kaum so lange, daß sich die Stromstärke bis zu ihrer vollen Höhe ausbilden kann. Schwingt der Unterbrecher doppelt so schnell (Darstellung *C*), so sieht man die Kurve bereits in ihrem stark ansteigenden Teil abgeschnitten. Das ist ein Übelstand, der sich nur durch ein Mittel mildern läßt: die Erhöhung der Betriebsspannung, unter der der Strom in die Primärspule tritt und die, man könnte sagen die Stromintensität auch in kürzerer Zeit auf ihre alte Höhe hinaufdrückt (Darstellung *D*). Die an einen guten Unterbrecher zu stellenden Ansprüche lassen sich daher folgendermaßen formulieren:

1. Die Periode des Stromschlusses sei so lang, die Periode der Stromöffnung dagegen so kurz als möglich. Lichtbogenbildung an den Kontaktstellen muß nach Möglichkeit vermieden werden.
2. Die Frequenz des Unterbrechers sei mindestens so hoch, daß die Stromstöße bei der Beobachtung an dem Leuchtschirm nicht mehr in die Erscheinung treten.
3. Je höher die Frequenz ist, eine desto höhere Betriebsspannung muß der Unterbrecher vertragen können, ohne seine exakte Funktion einzubüßen.

Sicherlich hat man außer diesen Forderungen noch allerhand

[1]) Die elektromotorische Kraft des induzierten [illegible] ist in jedem Augenblick $e = i \cdot w + L \frac{di}{dt}$.

Wünsche an die Geräuschlosigkeit, Sauberkeit, Bequemlichkeit und Eleganz eines Unterbrechers, sie treten aber gegen die ersteren zurück. Der Leser wird imstande sein, sich nach dem Vorangegangenen ein selbständiges Urteil über den Wert eines Unterbrechers in jedem besonderen Falle zu bilden. Wo es die Umstände erfordern, werden wir trotzdem bei der nun folgenden Besprechung der einzelnen Unterbrechertypen auf die theoretischen Erwägungen zurückkommen.

---

b) Die Unterbrecher für Gleichstrom.

1. Die Platinunterbrecher.

Der einfache, aber auch unvollkommene *Hammerunterbrecher* ist bereits im vorigen Abschnitt besprochen worden. Aus dem Bedürfnis heraus, die Frequenz zu erhöhen, ist der *Deprez-Unterbrecher* entstanden. Möglichste Symmetrie der schwingenden Massen wurde bei der Konstruktion angestrebt.

Ein um seine Mitte schwingendes, längliches Eisenstück (Fig. 34) wird durch Federkraft mit einem, an ihm befestigten Platinstück, gegen ein zweites gepreßt, das sich durch die Strom zuführende linke Kordelschraube (auf der Abbildung die zweite wagerechte vom Beschauer aus) vor- und rückwärts gegen das schwingende Platinstück verstellen läßt. Auf der anderen Seite trägt der kleine Eisenbalken eine Platte aus Messing, welche dem Drahtkern des Induktoriums gegenüber angeordnet wird und den Zweck hat, den magnetischen Schluß zwischen Anker und Induktorkern zu verhindern. Beim Stromeintritt ist das Spiel dann das gleiche, wie bei dem gewöhnlichen Hammerunterbrecher, nur daß die Schwingungen viel gleichmäßiger und schneller verlaufen. Die Stellfeder muß unter Berücksichtigung der angewandten Stromstärke stets so justiert werden, daß sie dem ihr entgegenwirkenden Magnetismus des Induktorkerns gegenüber nicht zu mächtig wird. Sollte es dennoch vorkommen, daß die Platinkontakte aneinander haften bleiben, so ist der Druck der ... vermindern.



Fig. 34. Deprez-Unterbrecher.

Fig. 35 zeigt die Anordnung von Ernecke-Berlin. Der Hammer kann durch Lösen der beiden Säulenschrauben herausgenommen und durch den Deprezunterbrecher ersetzt werden. Hierbei wird der Anker dem Induktorkern so weit genähert, als es seine Schwingungsweite erlaubt; berühren darf er ihn nicht. Der Deprezunterbrecher ist für Induktoren über 30 cm Schlagweite mit Vorteil nicht mehr anzuwenden, da er größere Stromstärken nicht verträgt. Auch bei Spannungen über 50 Volt unterbricht er nicht mehr exakt genug. Immerhin wird ihn sein verhältnismäßig gleichmäßiger Gang und insbesondere seine leichte Regulierbarkeit auf verschiedene Stromstärken und Funkenlängen für direkte Beobachtungen mit dem Fluorescenzschirm überall da empfehlen, wo kleinere Induktoren bei mäßigen Strommitteln Verwendung finden. (Akkumulatorenbetrieb mit 5—10 Zellen.) Der Deprezunterbrecher kann mit Strom so weit belastet werden, bis die Funken zwischen den Kontakten ein leuchtend-massiges Aussehen zeigen. Durch Regulierung der Feder lassen sich etwa 15—40 Unterbrechungen in der Sekunde erzielen.[1])



Fig. 35. Deprez-Unterbrecher am Induktor.



Fig. 36. Photogr. fixierte Stromkurve d. Deprez-Unterbr.

[1]) A. Wehnelt und B. Donath haben die Stromkurve des Deprezunterbrechers mit Hilfe der Braunschen Röhre photographisch aufgenommen (Fig. 36). Man sieht an der ungleichen Höhe der Kurvenstücke, wie ungleichmäßig der Unterbrecher arbeitet und wieviel Zeit zwischen einer Unterbrechung und einem neuen

Siemens & Halske ziehen eine vertikale Anordnung des Unterbrechers vor; sonst ist er im Prinzip dem vorbeschriebenen gleich.

Ein Versuch, die Schwingungszahl des alten Platin-Hammer-Unterbrechers zu erhöhen, ist nicht ohne Glück von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft-Berlin gemacht worden. Die Steigerung der Frequenz wird durch eine Feder erreicht, welche, ähnlich wie beim Deprezunterbrecher, der Ankerfeder eine regulierbare Gegenspannung gibt. (Oberer Schraubengriff in der Abbildung Fig. 37.) Durch Linksdrehen des Griffes wird die Schwingungszahl erhöht, durch Rechtsdrehen vermindert.

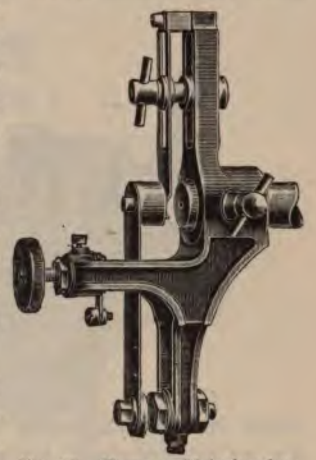


Fig. 37. Hammer-Unterbrecher mit beschleunigter Schwingung.

Auch dieser Unterbrecher ist nicht frei von den Fehlern der Platinunterbrecher. Er ist brauchbar für Induktoren bis zu etwa 30 cm Schlagweite. Seine Schwingungen lassen sich zwischen 15 und 50 in der Sekunde variieren.

Der Vorzug der Einfachheit, der den Platinunterbrechern nun einmal nicht abzusprechen ist, sowie ihre verhältnismäßige Wohlfeilheit hat den Konstrukteuren immer wieder Veranlassung gegeben, sich mit ihnen zu beschäftigen. Man trennte den Unterbrecher von dem Induktor und ließ ihn durch einen besonderen Elektromagneten antreiben, man gewöhnte sogar den Kontakten die Unart des „Klebens" fast ganz ab, aber unter allen diesen Verbesserungen gingen die Hauptvorzüge der alten Platinunterbrecher, Einfachheit und Billigkeit, doch verloren.

Wenn man hiervon absieht, wird man aber gern zugeben können, daß die hübsch konstruierten Apparate manche Vorzüge vor dem Deprezunterbrecher besitzen. Die beistehende Abbildung zeigt den Präzisions-Platinunterbrecher von Dr. Max Levy-Berlin (Fig. 38). Auf eine genauere Beschreibung desselben kann hier nicht eingegangen werden, nur so viel sei gesagt, daß sein Hauptvorteil dem einfachen Platinunterbrecher gegenüber in dem

---

Stromschluß vergeht. Auch ist infolge des starken Funkens der Stromabfall beim Öffnen ziemlich flach. Eine über der Aufnahme eingezeichnete Stimmgabelkurve mit 100 Schwingungen pro Sekunde gestattet die zeitliche Auswertung der Stromkurvenelemente (vgl. Wiedemanns Annalen der ...nd Chemie **69**, S. 861—870, 1899).

rapiden Abreißen der Kontakte besteht. Hierdurch wird die Unterbrechung fast momentan und infolgedessen von stark induktiver Wirkung auf die Sekundärspule des Induktors.

Alle Platinunterbrecher haben miteinander die schnelle Abnutzung der Kontakte gemein. Die neueren Konstruktionen sind

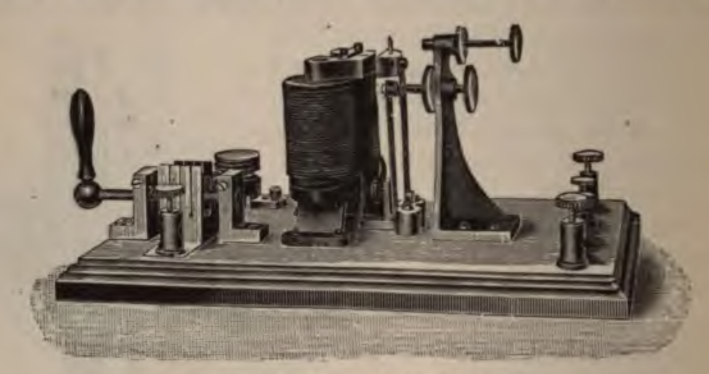


Fig. 38. Präzisions-Platin-Unterbrecher.

daher mit Vorrichtungen zum Auswechseln der Platinstifte versehen. Es ist von Nutzen, letztere öfter gegeneinander auszutauschen, da der den positiven Pol darstellende Stift der Abnutzung am meisten unterliegt.

Zeigt sich nach starkem Funken die Kontaktfläche korrodiert, so genügen einige Feilenstriche, um den früheren Zustand vorübergehend wieder herzustellen.

In Fig. 39 führen wir eine ähnliche Unterbrechertype der Voltohm-Gesellschaft vor. Man erkennt unschwer dasselbe Prinzip bei horizontal gelagertem Hammer.

Die einfache, saubere und bequeme Behandlung der Platinunterbrecher, mit Ausnahme der einfachen Hammerunterbrecher, welche für Röntgenzwecke kaum brauchbar sind, hat ihnen überall da Eingang verschafft und Freunde erworben, wo eine Stromquelle von mäßiger Spannung auf Induktoren mittlerer Größe arbeitet und außerdem auf Ruhe des Fluoreszenzbildes und eine kurze Expositionszeit weniger Wert gelegt wird, als auf einen billigen Anschaffungspreis.

2. Die einfachen Quecksilberunterbrecher.

Die Platinunterbrecher sind für starke Ströme und für hohe pannungen nicht verwendbar, weil die zwischen den Kontakten

übergehende elektrische Energie bestrebt ist, den entstehenden Zwischenraum mit Hilfe der von den hocherhitzten Kontakten stammenden Metalldämpfe zu überbrücken. Hierdurch verliert die Unterbrechung die zur Erzeugung eines kräftigen Induktionsstromes erforderliche Präzision und verursacht eine, besonders an Platinunterbrechern bei hoher Frequenz und starker Inanspruchnahme be-

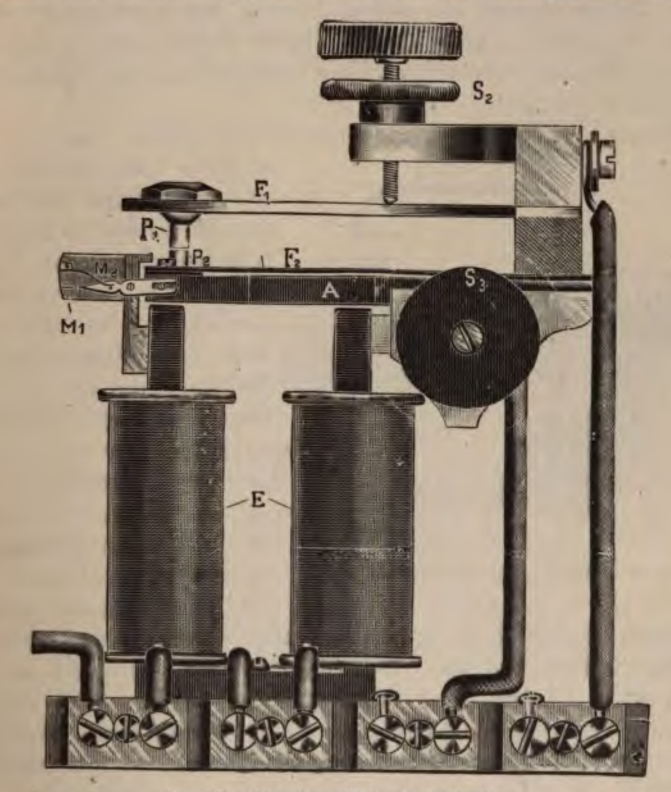


Fig. 39. Präzisions-Platin-Unterbrecher.

obachtete Schlagweitenverminderung. Man hat daher versucht, die Unterbrechung bei Abwesenheit von Luft in einem isolierenden Medium, z. B. Petroleum, vor sich gehen zu lassen, indem man den einen Kontakt durch Quecksilber, den anderen durch einen Metallstift ersetzt, der in das Quecksilber abwechselnd eingetaucht und herausgehoben wird.

Fig. 40 zeigt einen Quecksilberunterbrecher in seiner einfachsten Form. Das Glasgefäß wird bis zu etwa $^1/_3$ seiner Höhe mit Queck-

silber und dann bis an den unteren Rand des Halses mit Petroleum gefüllt. Beim Durchgang des Stromes neigt sich der federnde Eisenanker gegen den Kern des Induktors, die an ihm mit einem eisernen Kupferbügel befestigte Platinspitze verläßt das Quecksilber und unterbricht den Strom, wodurch die Pendelbewegung des Unterbrechers eingeleitet wird. Der Kontaktstift steht mit der Primärleitung, das Quecksilber mit einem der Pole des Stromwenders durch Drähte in leitender Verbindung. Durch Heben und Senken des Gefäßes wird das Quecksilber zum Kontaktstift in eine günstig wirksame Höhe gebracht.

Dieser Quecksilber-Hammerunterbrecher hat mit den anderen Unterbrechern derselben Kategorie den Vorteil gemein, daß die Zeit des Stromschlusses gegen den Augenblick der Unterbrechung relativ groß ist und daher eine volle Ausbildung des Primärstromes bis zu seiner Unterbrechung begünstigt, dagegen ist er wegen seiner geringen Unterbrechungszahl (ca. 15—20 in der Sekunde) für die Röntgenpraxis nicht zu empfehlen, wenigstens nicht für die direkte Beobachtung.



Fig. 40. Einfacher Quecksilberunterbrecher.

Nach einiger Zeit beginnt bei allen Quecksilberunterbrechern das Quecksilber und das darüber befindliche Petroleum zu verschlammen. Ersteres muß dann gereinigt werden. Ein einfaches Verfahren der Quecksilberreinigung ist am Schluß dieses Abschnittes angegeben. Die lästige Verunreinigung durch umhergeschleudertes Petroleum hat in vielen Fällen Alkohol vorziehen lassen.

Verfasser wendet mit Vorteil nur reines Wasser an, das sich stets dauernd spülend dem Unterbrechergefäß zuführen läßt und dessen, allerdings vorhandene, aber sehr geringe Leitfähigkeit durch Polarisation gegenüber der Sauberkeit und Bequemlichkeit nicht ins Gewicht fällt.

Das Bestreben, die Vorteile des Quecksilberunterbrechers durch Ausnutzung einer höheren Frequenz auszunutzen, hat in kurzer Zeit eine Menge von Konstruktionen auf den Markt gebracht, welche zum Teil recht kompliziert sind. Da dieselben für größere Induk-

toren bestimmt sind, die ja ohnehin ein großes Gewicht haben, so hat man die Unterbrecher von denselben ganz getrennt und behandelt sie zusammen mit dem Stromwender als besondere Apparate.

Hier interessiert vorerst noch der besonders häufig vorkommende Fall, daß ein gesonderter Quecksilberunterbrecher an einen Induktor angeschlossen werden soll, der mit Stromwender und irgend einem anderen Unterbrecher bereits versehen ist, z. B. der Induktor Fig. 35.

I. Die Schaltung gestaltet sich am einfachsten, wenn der gesonderte Unterbrecher einen eigenen Stromwender nicht hat. Er tritt dann ohne weiteres an die Stelle des Induktorunterbrechers, indem er, unter Entfernung desselben, an die Stromführungs-Säulenstücke angeschlossen wird.

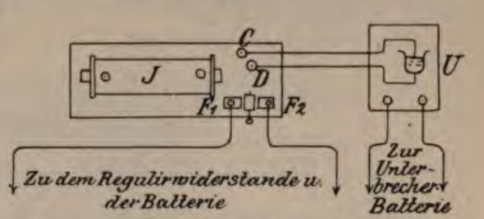


Fig. 41. Selbständiger Quecksilberunterbrecher am Induktor.

Fig. 41 gibt die schematische Anordnung. Es ist angenommen, daß die Schwingungen des Unterbrechers nicht durch den Primärstrom des Induktors, sondern durch eine besondere Vorrichtung unterhalten werden, die entweder durch ein Uhrwerk oder durch den Strom einer gesonderten kleinen Batterie in Gang gesetzt wird. Die Klemmen des Umschalters F_1 F_2 sind dann, ganz wie bisher, mit den Polen der Stromquelle verbunden, welche die Energie für den Induktor liefert.

II. Etwas komplizierter ist die Anordnung, wenn der Unterbrecher einen eigenen Stromwender hat. Ersterer besitzt dann 4 Klemmenpaare, von denen eines der Unterbrechervorrichtung den Betriebsstrom von einer besonderen Batterie zuführt. Das zweite (mit dem Kommutator verbunden) nimmt den Hauptstrom für das Induktorium auf, das dritte muß mit den Polen der Primärspule und das vierte mit den Belägen des Kondensators verbunden werden. Man findet die richtige Schaltung leicht, wenn man sich dessen erinnert, was auf Seite 45 über das einfache Stromlaufschema gesagt ist.

Die Klemmen C_1 C_2 des Unterbrechers U (Fig. 42) sollen mit dem Kondensator, die Klemmen P_1 P_2 mit der Primärspule, die Stromwenderklemmen mit der Hauptbatterie B_1, die Klemmen m n endlich mit der Nebenbatterie B_2, welche den Unterbrecher betätigt, verbunden werden.

Die letzten beiden Schaltungen sind, wie aus dem Schema ersichtlich, ohne weiteres unter Zwischenschaltung der erforderlichen

Regulierwiderstände zu machen. C_1 und C_2 werden so an den Kondensator gelegt, daß der bisherige Unterbrecher von seinen Stativsäulen (*D D*) abgeschraubt wird und letztere durch Drähte von nicht zu geringer Stärke mit den Klemmen verbunden werden.

Durch Schluß des Induktorstromwenders und Verbindung seiner Klemmen mit einem dicken Draht, werden, wie leicht ersichtlich,

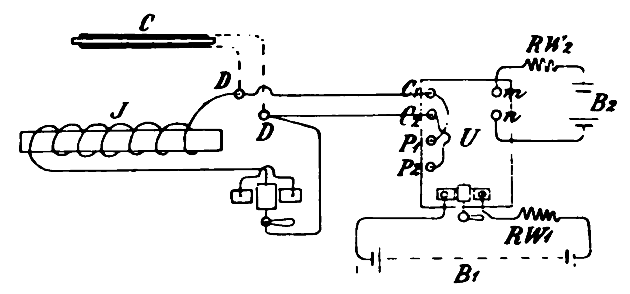


Fig. 42. Schaltungsschema eines Unterbrechers mit eigenem Stromwender.

die Säulen *D D* gleichzeitig zu den Polen der Primärspule. Mit ihnen sollen die Klemmen P_1 P_2 verbunden werden, was am einfachsten gleich am Unterbrecher durch Verbindung der Klemmen C_1 C_2 mit den Klemmen P_1 P_2 geschieht. Was für den Stromwender am Induktorium maßgebend war, gilt nunmehr auch für denjenigen des Unterbrechers (vgl. Seite 49).

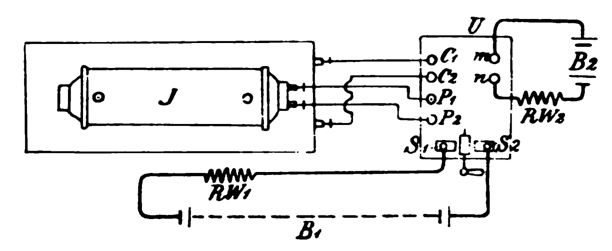


Fig. 43. Schaltung eines selbständigen Unterbrechers an einen Induktor ohne Stromwender.

III. Am einfachsten gestalten sich naturgemäß die Verbindungen mit den größeren Induktoren, bei denen von vornherein ein Betrieb durch separaten Unterbrecher vorgesehen ist. Solche Induktoren besitzen nur 2 Klemmenpaare, die mit der Primärspule bzgl. mit dem Kondensator in Verbindung stehen. Fig. 43 veranschaulicht die Schaltung, welche wohl nach dem Vorangegangenen einer besonderen Erläuterung nicht mehr bedarf. Zu bemerken ist jedoch daß alle Unterbrecher, die nicht mit dem Primärstrom selbst

arbeiten, also mit wenigen Ausnahmen fast alle vom Induktor getrennten Unterbrecher, erst in Gang gesetzt werden müssen, ehe der Hauptstrom durch Umlegen des Stromwenders geschlossen wird. Umgekehrt ist bei Schluß des Betriebes zuerst der Hauptstrom und dann erst der Unterbrecher auszuschalten.

Bei der großen Zahl der neueren Unterbrecherkonstruktionen ist es nicht angängig, dieselben im Rahmen dieses Buches alle zu beschreiben und durch Abbildungen zu veranschaulichen. Die Besitzer der einen oder anderen hier nicht erwähnten Konstruktion werden sich durch Aufsuchen der Drahtverbindungen an den Appa-

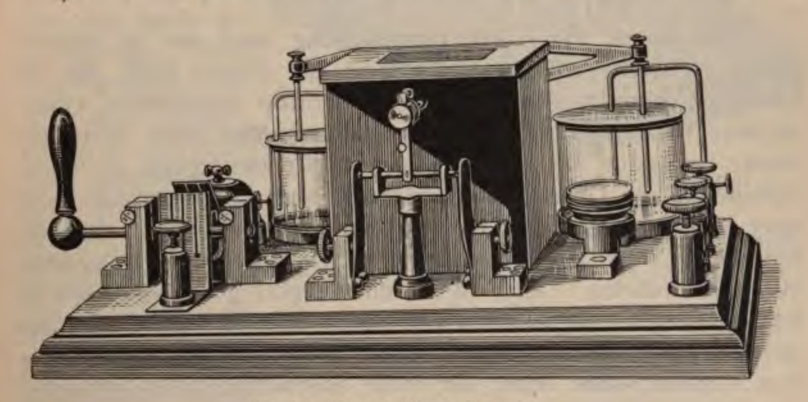


Fig. 44. Doppel-Quecksilberwippe.

raten (meist von unten sichtbar) und durch einige Überlegung nach den vorstehenden Angaben leicht zurechtfinden können. Eine kurze Besprechung der gangbarsten Modelle wird daher genügen.

Quecksilberdoppelwippe von Dr. Max Levy-Berlin (Fig. 44). Eine erhöhte Unterbrechungszahl wird durch Anordnung zweier Quecksilbergefäße erreicht, in welche die an einem zweiarmigen Hebelarm aus Aluminium sitzenden Kontaktstifte abwechselnd eintauchen. Der bewegende Elektromagnet ist durch einen Holzkasten geschützt. Die Unterbrechungszahl wird durch die vor dem Kasten sichtbaren Kontaktfedern reguliert, ebenso das gleichmäßige Eintauchen der Stifte.

Der Elektromagnet ist für die jeweilige Betriebsspannung passend bewickelt und mit der Primärspule des Induktors hintereinander geschaltet. Mithin arbeitet der Unterbrecher mit dem Induktorstrom und bedarf keiner besonderen Stromquelle. Die seitlich vom Strom-

wender angebrachten Klemmen werden mit der Batterie, die größeren Außenklemmen rechts mit der Primärspule, die kleineren zwischen ihnen mit dem Kondensator verbunden. Hat der Induktor einen eigenen Stromwender, so wird derselbe geschlossen und seine Klemmen werden mit einem starken Draht verbunden (vgl. Seite 65 unter II). Der Unterbrecher eignet sich für Induktoren bis zu 30 cm Schlagweite.

Die Wippenunterbrecher sind heute als veraltet zu bezeichnen: sie haben den Motorunterbrechern ihren Platz abgetreten.

3. Die Motorunterbrecher.

Jede lineare Hin- und Herbewegung wird um so schwerfälliger, je größer die bewegte Masse ist. Daraus folgt, daß die Unterbrechungszahl eines auf diesem Prinzip basierenden Unterbrechers nach aufwärts rasch begrenzt ist. Man leitet daher die lineare Bewegung mit Vorteil von einer Kreisbewegung ab durch Verbindung des Unterbrecherhebels mit einer Excenterscheibe oder einer Kurbel. Aus diesen Konstruktionselementen heraus sind die rotierenden, oder — da sie zu ihrem Antriebe einer besonderen Maschine bedürfen — auch Motorunterbrecher genannten Apparate hervorgegangen. Sie zeichnen sich durch eine, in weiteren Grenzen variable, hohe Tourenzahl und durch große Leistungsfähigkeit aus. Den Vorteilen steht leider der hohe Anschaffungspreis gegenüber.

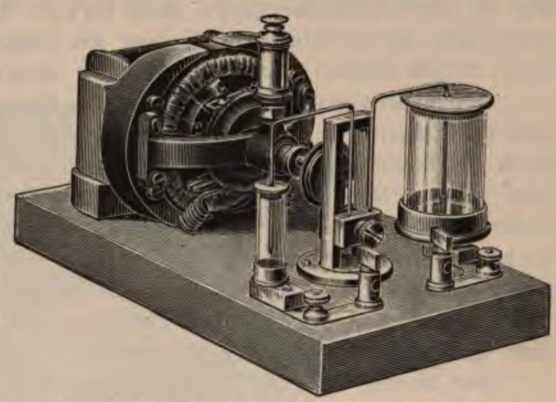
Das Ausheben und Einsenken des Kontaktstiftes in das Quecksilber wird durch einen Elektromotor bewirkt, der seine Energie von einer besonderen kleinen Akkumulatorenbatterie oder von der Lichtleitung erhält. Im letzteren Falle empfiehlt es sich, falls der Motor nicht bereits mit einer für die hohe Spannung geeigneten Bewickelung versehen sein sollte, demselben als Widerstand eine oder mehrere Glühlampen in Parallelschaltung vorzuschalten, je nach der erforderlichen Stromstärke. Die Wickelung würde sonst [illegible] dem geringen Widerstand, den sie der hohen Spannung des Lichtleitungsstromes bietet, Gefahr laufen, durch zu große Stromstärke zu verbrennen. Der auf Seite 2[illegible] besprochene Glühlampenwiderstand eignet sich zu diesem Zweck [illegible] ebenso [illegible] der Motor geschaltet, wie [illegible] Akkumulatoren [illegible] Selbstredend kann der Motor auch von derselben Strom[illegible] den Induktor den Strom liefert [illegible]

[illegible] Sekunde [illegible]

[illegible] erscheinungen [illegible]

Tourenzahl des Mechanismus mit sich bringt, nicht mehr von Vorteil.

Motorquecksilber von Siemens & Halske, Berlin (Fig. 45). Der Kontaktstift ist in einfacher Weise mit einem Ringankermotor gekuppelt, dessen Excenterscheibe die kreisende Bewegung in eine geradlinige überführt.


Fig. 45. Einfacher Motor-Quecksilberunterbrecher.

Der Motor erhält seinen Antrieb durch eine besondere Batterie oder durch die Lichtleitung und muß für jeden Fall mit einer zweckmäßigen Bewickelung versehen werden. Beim Ankauf ist daher die vorhandene Betriebsspannung anzugeben. Die Primärstromzuführung zum Kontaktstift geschieht durch ein kleines Standglas (links auf der Abbildung), in dem Quecksilber so hoch aufgefüllt ist, daß der in das Glas tauchende und mit dem Kontaktstift verbundene Stromleitungsbügel bei seinem Auf- und Niedergang die Verbindung mit dem Quecksilber nicht verliert. Geschaltet wird der Unterbrecher, wie unter I, Seite 65 angegeben. Die Unterbrechungszahl ist etwa 20—30 in der Sekunde.



Fig. 46. Motorunterbrecher von Kohl.

Der rotierende Unterbrecher, welchen Max Kohl-Chemnitz bringt, zeichnet sich durch seine gedrungene Form

angenehm aus (Fig. 46). Die Konstruktion ist ähnlich der vorbeschriebenen, nur wird die rotierende Bewegung nicht mit einer Kulissenschleife, sondern durch Kurbelstange und Schlitzführung in eine geradlinige verwandelt. Die Kontaktspitze wird so eingestellt, daß sie den Quecksilberspiegel eben berührt, die feinere Einstellung wird dann durch Heben und Senken des Glasgefäßes, bei mäßigem Lauf, mittels Drehen der Fußumrandung vorgenommen.

Als Nebenvorrichtung kann von der Motorwelle durch Schnurlauf ein Zeigerwerk angetrieben werden, welches in jedem Augenblick die Tourenzahl des Motors und also auch die Unterbrechungszahl in der Minute abzulesen gestattet. Der Preis eines Tachometers beträgt jedoch etwa ein Drittel der Gesamtkosten für den Unterbrecher; es ist natürlich eine zwar bequeme, aber nicht unbedingt erforderliche Zugabe. Um eine schädliche Amalgambildung zu verhüten, soll der Silberstift während der Nichtbenutzung aus dem Quecksilber herausgezogen werden.

Der Motor-Quecksilberunterbrecher von Reiniger, Gebbert & Schall-Erlangen vereinigt auf dem Grundbrett mit den anderen Apparaten noch einen, dem Elektromotor vorgeschalteten, recht bequemen Anlaß- und Regulierwiderstand. Zur Bewegungsübertragung dient eine Kurbel und eine recht stabile Hülsenführung. Kontaktstift wie Quecksilbergefäß sind in der Höhe verstellbar, auch ist ein Stromwender vorhanden. Dem Motor wird der Strom durch die seitlich links an ihm befindlichen Klemmen zugeführt; ein Dosenausschalter schließt und unterbricht ihn.

Die Motorunterbrecher ähneln einander in den Grundprinzipien und meistens auch in der Ausführung durchaus. Die wenigen bisher erwähnten Formen mögen daher zur Orientierung des Lesers genügen.

Etwas abweichend in der Konstruktion ist der Rapid-Motorunterbrecher von Ferdinand Ernecke-Berlin gestaltet (Fig. 47). Der recht gefällig ausgestattete Apparat ist mit einer Einrichtung versehen, welche es gestattet, ohne Erhöhung der Tourenzahl eine fast doppelt so große Unterbrechungszahl wie bei den vorbeschriebenen Apparaten zu erreichen. Auf die nach beiden Seiten verlängerte Achse des erhöht aufgestellten Motors sind zwei Kurbeln k_1 und k_2 geschraubt, welche gegeneinander um 180^0 versetzt sind und bei ihrer Bewegung abwechselnd zwei Kupferstifte in das Quecksilber der beiden Gefäße g tauchen. Die Kupferstifte sind untereinander ebenso [illegible] ecksilbernäpfe verbunden. Es ist leicht zu über- [illegible] ıdrehung des Motors eine zweimalige Unter-

brechung des Stromes erfolgt. Wenn der Unterbrecher trotzdem die doppelte Frequenz eines solchen, nur mit einer Kontaktstange versehenen, nicht erreicht, so liegt dies an der Kürze der Kurbelstange i, welche die rotierende Umdrehung des Unterbrechers in die lineare Auf- und Abbewegung des Unterbrecherstiftes zu un-

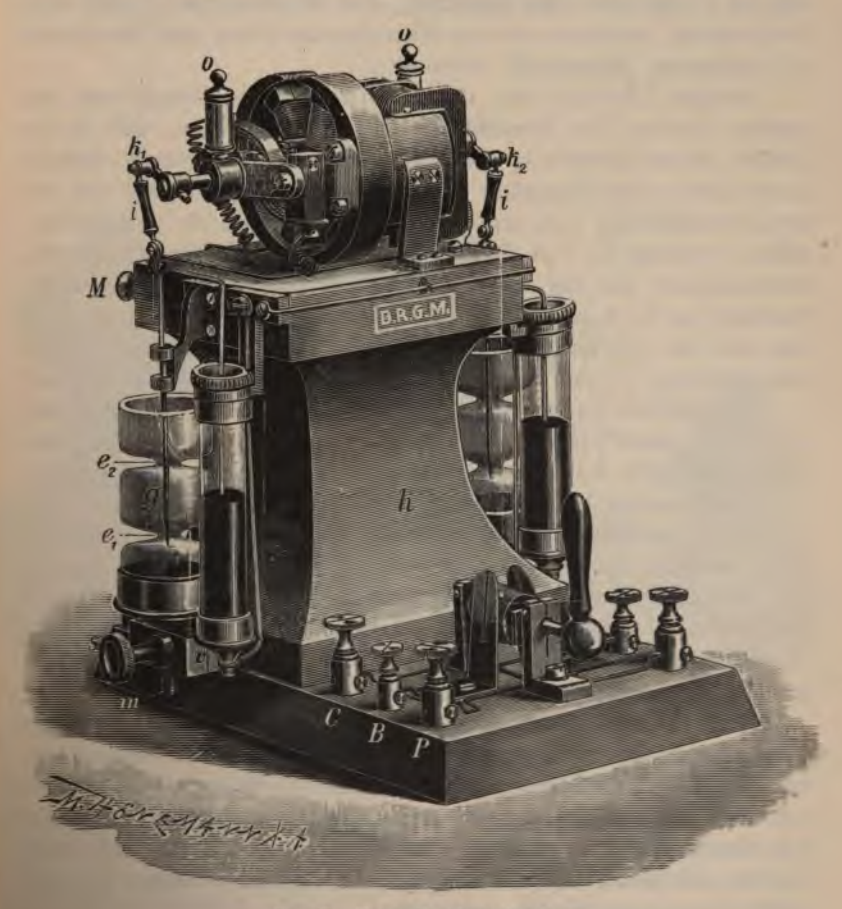


Fig. 47. Motor-Rapidunterbrecher.

vermittelt überleitet und bei höherer Inanspruchnahme den Mechanismus stark erschüttert. Dies ist vielleicht der einzige Fehler des sonst vortrefflichen Apparates, der auch dem Verfasser gute Dienste geleistet hat.

i an der oberen Kante des Stativblockes befindliche Klemmen

M (in der Zeichnung ist nur die eine sichtbar) vermitteln die Stromzuführung zum Motor, während auf dem Grundbrett des ganzen Apparates die Anschlußvorrichtung, die in 6 Klemmen und 1 Stromwender besteht, montiert ist.

Das Klemmenpaar *P*, rechts und links vom Stromwender, wird mit der Primärspule des Induktors, das Klemmenpaar *C* mit dem Kondensator desselben und das Klemmenpaar *B* mit der den Induktor speisenden Stromquelle verbunden.

Zwecks Füllens der Quecksilbergefäße bringt man die unteren Spitzen der Kontaktstifte auf gleiche Höhe, was durch Drehen beider Kurbeln in die horizontale Stellung erfolgt. Sodann gießt man in die Glasgefäße Quecksilber, bis es die Mitte der unteren Einschnürung $e_1 e_1$ erreicht hat, dann werden die Quecksilbergefäße vorläufig so weit herauf- oder heruntergeschraubt, bis die Kontaktspitzen (bei der oben angegebenen horizontalen Stellung der Kurbeln) ca. 3—4 mm über dem Quecksilber stehen. Darauf gießt man auf das Quecksilber Petroleum, bis es die unterhalb der oberen Einschnürung $e_2 e_2$ auf dem Glasgefäße eingeritzte Marke erreicht hat.

Das Entleeren der Quecksilbergefäße erfolgt in der Weise, daß man zuerst durch Hochdrehen der über dem betreffenden Quecksilbergefäß befindlichen Kurbel dem Kupferstift seine höchste Lage gibt, sodann schraubt man die untere vordere große Kurbelschraube *s* vollständig heraus, nimmt die Messingplatte *v* ab und zieht, während man das Glasgefäß etwas gegen den Holzblock neigt und den Gewindestift *m* der Fassung des Quecksilbergefäßes aus der Hälfte der durchschnittenen Schraubenmutter herausnimmt, das Quecksilbergefäß schräg nach unten fort. Das Einsetzen des Gefäßes erfolgt naturgemäß in umgekehrter Reihenfolge.

Nach Ingangsetzen des Motors stellt man durch Auf- oder Abwärtsschrauben der Quecksilbergefäße dieselben so ein, daß gleichmäßig kräftige Unterbrechungen entstehen. Es ist darauf zu achten, daß die Gefäße nicht zu hoch stehen, da sonst statt der doppelten Unterbrechungen nur einfache oder gar keine entstehen, weil, noch ehe der eine Kontaktstift die Quecksilberoberfläche verlassen hat, der andere Kontaktstift bereits eintaucht.

Beim Verändern der Geschwindigkeit muß auch die Stellung der Quecksilbergefäße verändert werden, wenigstens sobald diese Geschwindigkeitsänderung eine wesentliche ist. Im allgemeinen müssen beim Schnellerlaufen des Motors die Gefäße aufwärts, beim Langsamerlaufen des Motors die Gefäße abwärts geschraubt werden.

Die Baumwolle in den Ölern *oo* auf den Motorlagern muß, nach Abnehmen der kleinen Messingdeckelchen, öfter mit Öl getränkt werden, auch müssen die reibenden Teile (Kurbelgelenke oben und unten, Führungslager der Kontaktstifte u. s. w.) öfter geölt werden.

ii sind Isolationsstücke, die die Motorachse von den Kontaktstiften isolieren.

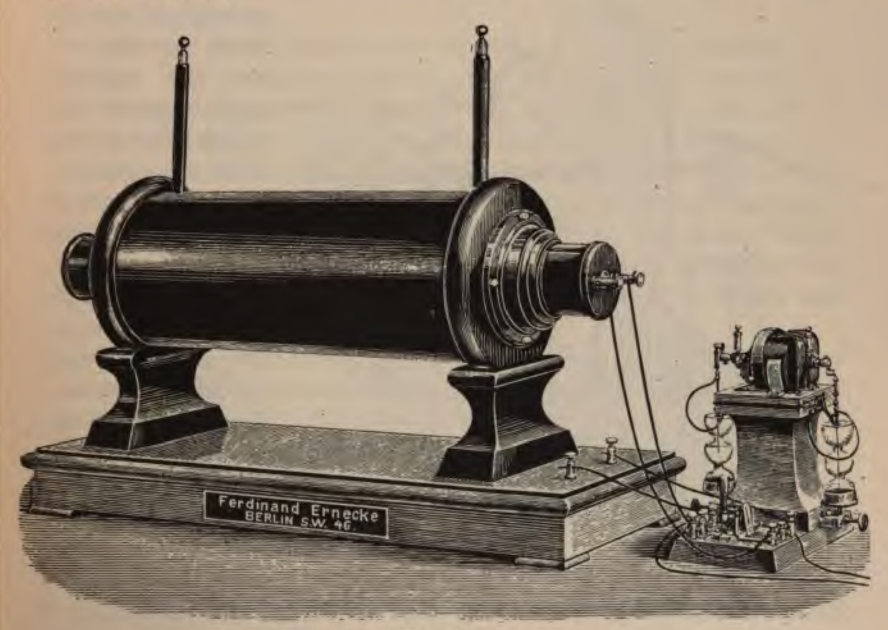


Fig. 48. Induktor mit Rapidunterbrecher.

Da Stromzuführungslitzen durch die Oscillation der Unterbrecherstifte leicht abbrechen, werden die Apparate neuerdings mit einer Quecksilberstromzuführung, wie aus der Abbildung ersichtlich, versehen. Zum Betriebe des Motors genügen zwei Akkumulatorzellen. Die Unterbrechungen können mit dem Rapidunterbrecher, ohne wesentlichen Nachteil für die Ausnutzung der Energie in der Primärspule, bis auf etwa 40—50 in der Sekunde gesteigert werden.

Fig. 48 stellt den Unterbrecher in Schaltung mit einem Induktor von 40 cm Schlagweite dar.

Schließlich sei noch des von Hofmeister[1]) angegebenen Motorunterbrechers Erwähnung getan, der sich vor allem durch seine

[1]) Hofmeister, Wiedemanns Annalen d. Physik **62**, S. 379.

große Wohlfeilheit und Einfachheit auszeichnet (Fig. 49). Über zwei kleine parallelopipedische Gefäße I und II aus Glas ist eine metallische Achse *a* gelagert, die eine Scheibe aus Kupferblech *S* und einen dreispeichigen Drahtstern *F* trägt. *S* taucht in das Gefäß I, *F* in das Gefäß II. Während sich im Troge *I* nur Quecksilber befindet, ist das Quecksilber in II mit einer zweifingerstarken Schicht destillierten Wassers bedeckt und in seiner Höhe so reguliert, daß eine nachfolgende Speiche das Quecksilber erst berührt, wenn die vorangehende es schon verlassen hat. Die Stromzuführung geschieht durch die Drähte d_1 und d_2 in der aus der Figur ersichtlichen Weise. Zur weiteren Kritik des Unterbrechers sei bemerkt, daß er ohne Frage mehrere Vorzüge miteinander vereinigt. Die Stromschlüsse sind möglichst lang, die zwischen den Unterbrechungen und Stromschlüssen liegenden Zeiten möglichst kurz, die Frequenz infolge der leichten Konstruktion und wegen des Fortfalles aller hin- und hergehenden Teile genügend groß. Vor allem aber beansprucht der Unterbrecher nur eine minimale Betriebsenergie und das ist jedenfalls sein größter Vorzug. Jeder Spielzeug-Elektromotor für wenige Mark, entweder direkt mit der Achse verbunden oder durch Schnurlauf gekoppelt, reicht für den Antrieb aus. Diesen Vorteilen stehen gewisse Nachteile gegenüber, die der Hofmeistersche Unterbrecher zum Teil mit allen anderen Quecksilberunterbrechern teilt. Dahin gehört z. B. das Verschlammen und unausstehliche Spritzen. Letztere Unart ist dem Unterbrecher durch die von H. Hauswald[1]) angegebene, eigenartige Speichenform, welche

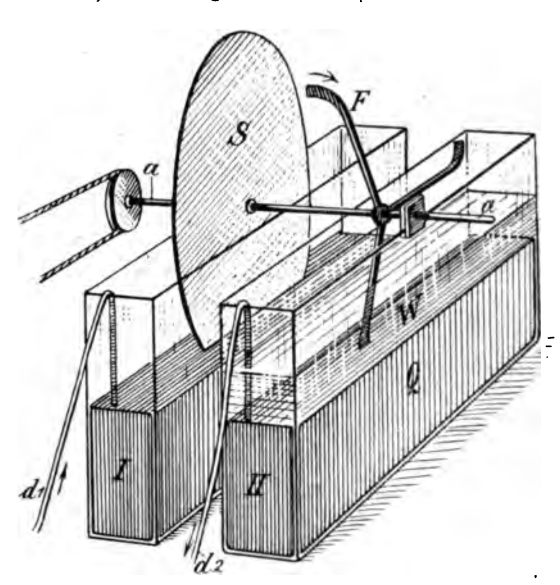


Fig. 49. Hofmeisterscher Quecksilberunterbrecher.

[1]) H. Hauswald, Wiedemanns Annalen der Physik und Chemie Bd. 65, S. 479. 1898.

auch in der Figur sichtbar ist, einigermaßen abgewöhnt worden. Hauswald biegt die Enden der Speichen fast rechtwinklig herum und hämmert sie messerartig breit. Er erreicht dadurch einen nahezu normalen Austritt der Kontakte an der Quecksilberoberfläche. In dieser Form dürfte der sonderbarerweise nur wenig bekannte Hofmeistersche Unterbrecher sich auch heute noch viele Freunde erwerben.

Haben die Quecksilberunterbrecher den unverkennbaren Vorzug vor den Platinunterbrechern, daß sie größere Stromstärken zu unterbrechen gestatten und daher für Induktoren von 30—50 cm Schlagweite wohl verwendbar sind, so kann man doch nicht verkennen, daß sie Strömen höherer Spannung gegenüber ihre Exaktheit verlieren. Der Grund hierfür ist in der alsbald auftretenden Lichtbogenbildung zwischen Quecksilber und Kontaktstift zu suchen. Wir haben aber bereits gezeigt, daß gerade diese hohe Spannung notwendig ist, um, bei hoher Unterbrechungszahl, der Primärspule eine große Energiemenge zuzuführen.

Der Quecksilber-Turbinen-Unterbrecher der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft in Berlin behebt den Übelstand im allgemeinen in recht befriedigender Weise, indem er gleichsam Kontaktstift und Quecksilber ihre Rollen miteinander vertauschen läßt.

Nicht der Kontaktstift ist hier der bewegte Teil, sondern das Quecksilber, welches durch schnelle Rotation eines rechtwinkelig gebogenen Rohres um seine vertikale Achse aufgesaugt und gegen den Kontaktstift bei jeder Umdrehung einmal geschleudert wird.

Nun ist zweckmäßig nicht nur ein Kontakt, sondern ein ganzer Kreis in Form eines ausgesparten, metallischen Segmentringes um die rotierende Winkelröhre angeordnet. Sobald der Quecksilberstrahl auf ein Metallstück trifft, schließt er den Strom, er öffnet ihn, sobald er durch eine der Aussparungen hindurchspritzt, und zwar bei einem Umlauf so oft, als der Segmentring Metallstücke hat. Das ausgeflossene Quecksilber strömt auf den Boden des Unterbrechertopfes zurück und wird von dort wiederum angesaugt. Der Vorgang spielt sich unter Alkohol ab, der sich, wenn auch nicht mit gleichem Erfolge, durch Wasser ersetzen läßt.

Man sieht, daß ein glücklicher konstruktiver Griff alle hin und her gehenden Teile durch nur rotierende ersetzt hat und daß daher die Frequenz des Unterbrechers eigentlich eine fast unbegrenzte ist. [illegible] n für die Röntgenpraxis trotzdem nicht gern über 100 [illegible] gen in der Sekunde geht, so liegt das an dem Um-

stande, daß bei höheren Tourenzahlen die Unterbrechungen für große Stromstärken nicht mehr rein genug sind und daß man vor allem auch den Stromschluß so langandauernd als nur möglich machen will.

Die linke Seite der Abbildung Fig. 50 stellt den antreibenden Motor, die rechte das Turbinengehäuse dar, zu dessen Füllung etwa 2000 g = 150 ccm Quecksilber und 1450 g = 1700 ccm reinen Alkohols (nicht denaturiert), erforderlich sind. Der Motor wird mit



Fig. 50. Turbinenunterbrecher mit rotierendem Quecksilberstrahl.

einem Regulierwiderstand an die Lichtleitung geschaltet, während die Verbindung des Segmentkranzes bezgl. des Quecksilberinhalts des Turbinengehäuses an das Induktorium und die Stromquelle nach Rubrik I, Seite 65 erfolgt.

Der Unterbrecher arbeitet relativ geräuschlos und verschafft ein ebenso ruhiges Fluorescenzbild wie eine kurze Exposition bei photographischen Aufnahmen, was angesichts des relativ hohen Energieumsatzes verständlich ist. Er unterbricht selbstredend auch Ströme von geringerer Spannung, nur empfiehlt es sich dann zur besseren Ausnutzung des Induktors, einen Segmentring einzusetzen,

bei dem der Stromschluß länger dauert als die Unterbrechung, also einen solchen mit breiteren Metallteilen.

Der Motor wird gewöhnlich für den Anschluß an die Lichtleitung gebaut; soll er von einer Batterie aus betrieben werden, so ist eine besondere Drahtbewickelung seines Ankers und seiner Feldmagnete erforderlich.

Ein Vorzug des Turbinenunterbrechers, der ihn für den Nichtfachmann besonders geeignet macht, ist seine Unempfindlichkeit

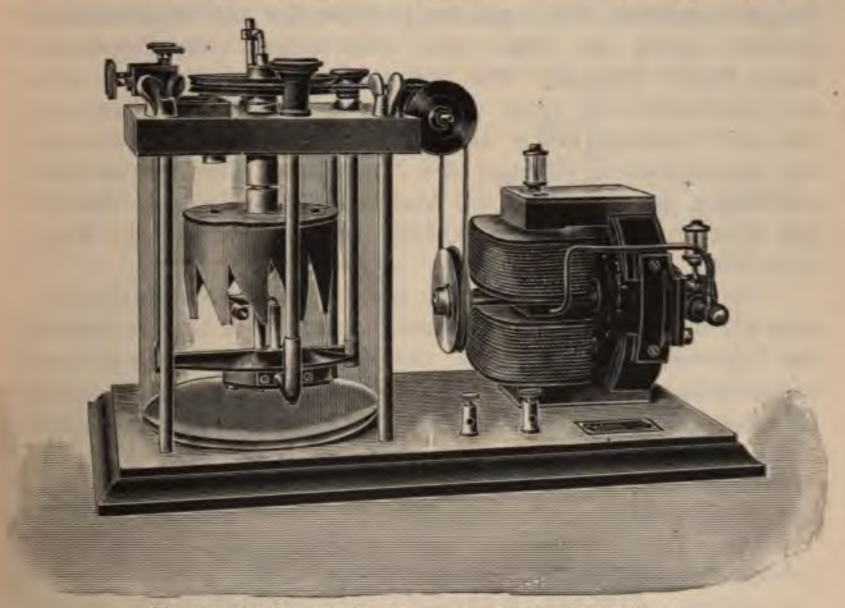


Fig. 51. Turbinenunterbrecher mit rotierendem Segmentring.

gegen den Induktorstromschluß beim Stillstand. Da während desselben kein Quecksilber ausspritzt, ist der Betriebsstrom stets unterbrochen und es kann der für ihn bestimmte Ausschalter geschlossen werden, ehe der Motor in Gang gesetzt wird. Ein Versehen in dieser Beziehung kann daher nicht schädlich werden (vergl. Seite 67).

Den gleichen Vorzug besitzt der rotierende Quecksilberstrahlunterbrecher von Levy-Berlin, welcher im Prinzip dem vorstehenden eng verwandt ist (Fig. 51). Der Unterschied besteht im wesentlichen nur darin, daß nicht der Quecksilberstrahl, sondern der Segmentkranz rotiert. Das Quecksilber wird durch eine, mit dem Segmentkranz verbundene, Zahnradpumpe vom Boden des Gefäßes durch ein rechtwinkliges Ausspritzröhrchen emporgetrieben

und gegen die Segmente geschleudert. Da die Pumpvorrichtung schon bei geringen Tourenzahlen ansaugt, können die Unterbrechungen bereits von einer in der Sekunde an prompt zustande kommen. Die obere Grenze ist ebenso begrenzt wie bei dem vorbeschriebenen Turbinenunterbrecher, erreicht also etwa die Zahl von 100 Unterbrechungen in der Sekunde. Die Vertauschung des Segmentringes gegen einen anderen mit breiteren Segmenten für geringere Spannung wird durch die eigentümliche Gestalt des Ringes vermieden. Die Segmente sind nämlich aus Metalldreiecken gebildet, welche ihre Spitze nach unten kehren. Die Unterbrechungen dauern gegenüber den Stromschlüssen am längsten, wenn der Quecksilberstrahl gegen die Spitzen der Dreiecke gerichtet wird, und das Verhältnis beider ändert sich in dem Maße zu Gunsten des Stromschlusses, als man den Strahl hebt. Die einfache Stellvorrichtung gestattet daher, das Verhältnis so zu wählen, daß für jede Unterbrechungszahl die Wirkung auf den Induktor ein Maximum wird.

Um den Stand des Alkohols oder Petroleums und das Vorschreiten der Verschlammung besser beurteilen zu können, besteht das Turbinengehäuse aus Glas, die Zuführung des Stromes zum Segmentkranz erfolgt durch ein zentrisch zur Achse angebrachtes Quecksilbernäpfchen, der Antrieb durch einen besonderen Elektromotor.

Einen dem vorstehend beschriebenen ganz ähnlichen Unterbrecher baut Kohl in Chemnitz.

4. Die sogen. elektrolytischen oder Flüssigkeitsunterbrecher (Wehnelt-Unterbrecher).

Von den mechanischen Unterbrechern stellen die rotierenden Quecksilberunterbrecher die vollkommensten Apparate zur rationelleren Ausnutzung der Funkeninduktoren dar. Sie werden aus rein mechanischen Gründen kaum noch wesentlich verbessert werden. Ihre Vorteile gegenüber den Platin- und langsam schwingenden Quecksilberunterbrechern (exaktere Unterbrechung bei erhöhtem Energieumsatz und erhöhter Frequenz) lassen ihre Nachteile (umständliche Wartung, hoher Preis) überall da verschmerzen, wo mit den Mitteln nicht gegeizt zu werden braucht. Besonders in größeren Laboratorien und Kliniken findet man sie daher häufig.

Der im Jahre 1899 von A. Wehnelt erfundene Flüssigkeitsunterbrecher beruht auf einem ganz anderen Prinzip. Seine Konstruktion ist eine, man könnte sagen, beispiellos einfache, seine

Leistung in jeder Beziehung eine hervorragende. Bei dem allseitigen Interesse, das der Wehnelt-Unterbrecher in der Wissenschaft und Praxis gefunden hat, möge es gestattet sein, zunächst in Kürze auf sein physikalisches Prinzip einzugehen.

Stehen sich in einem Gefäße *U* mit verdünnter Schwefelsäure zwei Elektroden aus Platin gegenüber und werden diese mit einer Stromquelle *S* verbunden, so beginnt an der positiven (Anode) die Ausscheidung von Wasserstoff. (Vorgang der Elektrolyse.) Wird die Kathode *Pb* (Fig. 52), welche dann aus einem beliebigen Metall, am besten Blei, bestehen kann, der Anode *p* gegenüber, welche nur aus einer durch ein isolierendes Rohr gesteckten Platinspitze besteht, recht groß gewählt und gleichzeitig die Spannung bis auf etwa 80 Volt erhöht, so geht bei plötzlicher Stromstärkeverminderung (Stromumschlag) die Sauerstoffentwickelung an der Platinspitze unter einer eigentümlichen, gelbrötlichen Lichterscheinung vor sich. Dies Phänomen ist von Richarz und später von Koch und Wüllner (1892) eingehend studiert worden, die bezugnehmend auf das, die Erscheinung begleitende, sausende Geräusch, auf den intermittierenden Charakter des Stromes hinwiesen. Wehnelt (1899) bemerkte hierzu, daß eine dem Apparat vorgeschaltete Drahtspule *W* von hoher Selbstinduktion den Vorgang wesentlich begünstigt, indem dann bei Erhöhung der Spannung der schon erwähnte Stromumschlag nicht eintritt. Es entstehen vielmehr unter lebhaftem Geräusch und starker Leuchterscheinung rhythmische Stromschlüsse und Unterbrechungen von hoher Frequenz und großer Exaktheit. Der Vorgang ist wahrscheinlich folgender: Alle von der großflächigen Kathode her den Elektrolyten durchsetzenden Stromfäden laufen an der kleinen Anode zusammen und veranlassen hier eine sehr hohe Stromdichte. Hand in Hand mit einer anfänglich auftretenden Elektrolyse geht daher eine Erwärmung und Verdampfung der Flüssigkeit. Hüllt der Dampf die Anode völlig ein, so ist der Strom unterbrochen und die erste Phase des Vorganges beendet. Nunmehr tritt der in der Spule *W* durch den plötzlich auftretenden

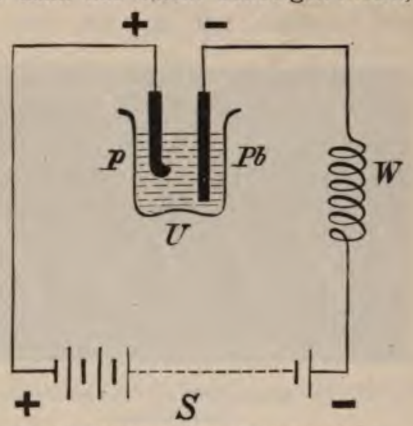


Fig. 52. Prinzip d. Wehnelt-Unterbrechers.

Intensitätsabfall erweckte Selbstinduktionsstrom (Extrastrom, Seite 48) in Wirkung, durchschlägt vermöge seiner hohen Spannung die erhitzte Dampfhülle (Leuchterscheinung), zersetzt sie und schleudert die Gasteilchen explosionsartig auseinander. Dann fällt die Flüssigkeit wieder zusammen, und derselbe Vorgang beginnt von neuem. Durch die Höhe und Gleichförmigkeit des dabei entstehenden Tones wird der Unterbrechungsvorgang als ein ungemein rapider und exakter charakterisiert. Die Analyse des Stromverlaufes mit der Braunschen Röhre zeigt die Charakteristik noch deutlicher.[1] (Fig. 53.) Bei Vergleich mit der auf Seite 60 reproduzierten Stromkurve des Deprez-Unterbrechers treten die Eigenschaften des Wehnelt-Unterbrechers klar hervor.[2] Man bemerkt Maximal-Amplituden von gleicher Höhe, regelmäßige Anstiege in gleichen Abständen und — was vor allem von Wichtigkeit ist — Stromabfälle von so großer Steilheit, daß der Gipfelpunkt des einen Anstieges fast über dem Fußpunkt des anderen liegt. Hieraus erklärt sich der hohe induktive Effekt des Unterbrechers. Da ferner Stromruhepausen wie bei den einfachen Platin- und Quecksilberunterbrechern nicht vorhanden sind und die Frequenz, wie weiter unten gezeigt werden soll, mit der Spannung steigt, so nähert sich der Wehneltsche Apparat im physikalischen Sinne bereits dem Ideal eines Unterbrechers. Daß er auch praktisch bei geeigneter Behandlung eine vorzügliche Vorrichtung darstellt, wird aus dem Folgenden hervorgehen.



Fig. 53. Photographisch fixierte Stromkurve des Wehnelt-Unterbrechers.

Es lag auf der Hand, an eine Verwertung des elektrolytischen Unterbrechers für Induktoren zu denken, da ja ihre Primärspule geeignet ist, die Stelle der vorgeschalteten induktiven Drahtspule *W* zu übernehmen. Hierdurch wird die sonst lästige und hinderliche

---

[1]) Vgl. A. Wehnelt u. B. Donath, Wiedemanns Annalen d. Physik und Chemie **69**, S. 861—870. 1899.

[2]) Die über der Unterbrecherkurve erscheinende Kurve rührt von einer hundertmal in der Sekunde schwingenden Stimmgabel her.

Selbstinduktion der Primärspule in vorteilhafter Weise gleichsam zur Betätigung des Unterbrechers nutzbar verwendet.

In der Tat haben dahingehende Versuche die gehegten Erwartungen bei weitem übertroffen, und der Wehnelt-Unterbrecher ist im Dienste der Röntgentechnik heute über die ganze Erde verbreitet. Er hat auch wesentlich dazu beigetragen, wie wir später auseinandersetzen werden, den Bau der Induktoren einer Revision zu unterziehen. Da der Kondensator bei der Reinheit und hohen Frequenz der Unterbrechungen überflüssig wird, schaltet man ihn an

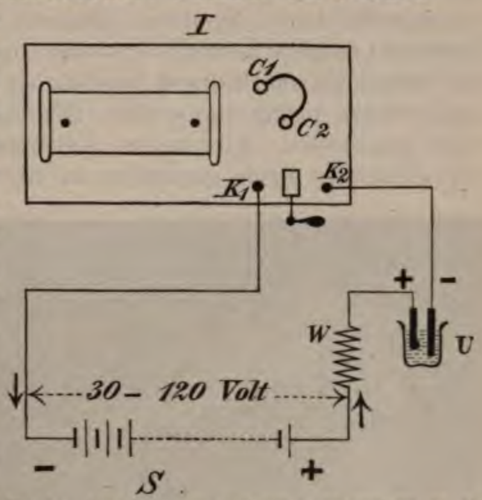


Fig. 54. Schaltung des Wehnelt-Unterbrechers an ein früher mit Hammer-Unterbrecher versehenes Induktorium.

älteren Instrumenten einfach kurz.[1]) (Fig. 54.) — Der Platinunterbrecher wird herausgenommen und seine Stativsäulen, welche gleichzeitig die Pole des Kondensators sind (C_1 C_2), werden durch einen dicken Draht miteinander verbunden. Der positive Pol der Stromquelle wird mit der Platinspitze (Anode) des Unterbrechers in Verbindung gebracht, während der negative der Stromquelle und die Bleikathode der Unterbrecherzelle auf die Klemmen des Stromwenders (K_1 K_2) geschaltet werden. Man achte streng darauf, daß die Platinspitze

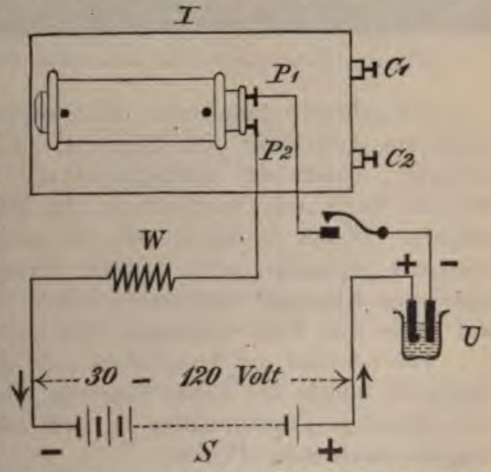


Fig. 55. Schaltung des Wehnelt-Unterbrechers an größere Induktoren.

sten Fabriken konstruieren jetzt für den Wehnelt-Unter-
ondensatorlose Induktoren.

positiv wird, da sie andernfalls sofort verbrennt. Ein recht bequemes Mittel zur schnellen Aufsuchung der Pole einer Stromquelle ist der „Polsucher“ (Abschnitt VI), auch kann man an der Farbe der Leuchterscheinung die Stromrichtung leicht erkennen. Leuchtet die Dampfhülle am Platinstift bläulich, so ist der Unterbrecher falsch, wenn rötlich, richtig angeschaltet. Der Stromwender wird durch Umlegen geschlossen. Eine seiner Stellungen ist der Spitze und Platte der sekundären Spule gegenüber die bevorzugte (vgl. Seite 49).

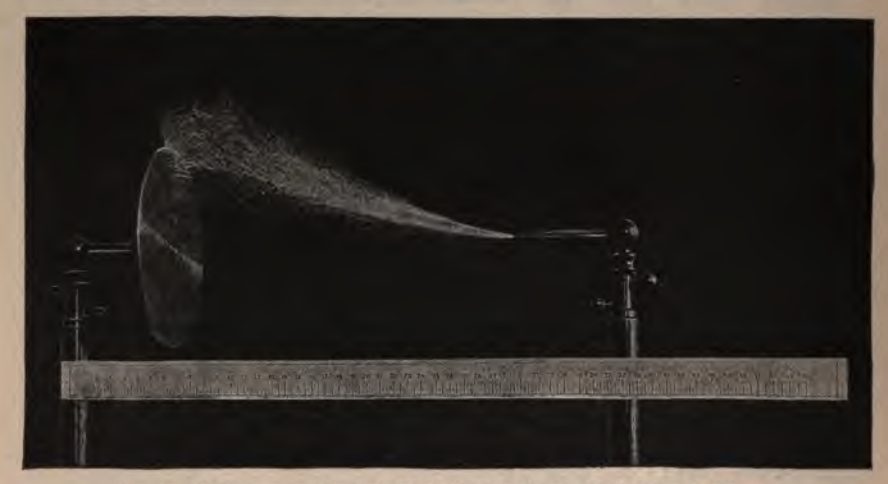


Fig. 56. Funkenstrom eines mit Wehnelt-Unterbrecher betriebenen Induktors.

Bei größeren Induktoren ohne Stromwender, an dessen Stelle dann ein Ausschalter tritt (Fig. 55), ist die Schaltung fast noch einfacher, indem der positive Pol der Stromquelle (siehe oben) mit der Spitze des Unterbrechers, die Bleiplatte desselben und der negative Pol des Stromerzeugers mit den Klemmen P_1 P_2 der Primärspule verbunden wird. Durch Vertauschen der für die letztgenannten Klemmen bestimmten Drähte wird der für die Wirkung auf Spitze und Platte günstigere Fall ausgeprobt.

Beim Schluß des Ausschalters setzt sofort der Funkenstrom ein, indem er infolge der hohen Frequenz und Intensität die Luftschicht mit glänzender Leuchtwirkung in Form eines rauschenden Flammenbogens durchbricht (Fig. 56).

Auf größere Strecken geht die Entladung in einen wirbelnden Funkenstrom von eigenartiger Symmetrie über (Fig. 57).[1]

[1]) Den durch Photographie dargestellten Funkenentladungen gegenüber ist eine gewisse Vorsicht am Platze. Sie brauchen dem vom Auge

Wird die Stromstärke durch Ausschalten von Widerstand ohne Vergrößerung der Anode erhöht, so erhöht sich auch die Spannung an den Polen und mithin die Unterbrechungszahl der Zelle, wird hingegen die Oberfläche der Anode durch Vorschieben des Platinstiftes vergrößert ohne äußere Widerstandsverminderung, so erhöht sich naturgemäß zwar die Stromstärke und mit ihr die massige Struktur der Funken, aber die Spannung sinkt und die Unterbrechungszahl wird kleiner. Wir schließen daraus, daß die Frequenz



Fig. 57. Funkenentladung eines mit Wehnelt-Unterbrecher betriebenen großen Induktors.

steigt mit der auf der Anode lastenden Stromdichte und bei unveränderter Anodenoberfläche mit der Spannung. Der Unterbrecher wird daher am vorteilhaftesten für die Lichtleitungsspannung benutzt und kann im allgemeinen ohne Vorschaltwiderstand direkt an das Netz der Zentrale angeschaltet werden. Die Stromstärke wird durch allmähliches Vorschieben der Platinspitze und entsprechendes Ausschalten eines Vorschaltwiderstandes

aufgenommenen Eindruck keineswegs zu entsprechen. Denn abgesehen davon, daß die verhältnismäßig dunklen, aber sehr aktinischen Partien auf der Platte stark hervortreten, ist es möglich, durch lange Exposition Funkenbild auf Funkenbild zu häufen und so eine hohe Frequenz vorzutäuschen. Man dürfte also streng genommen nur Funkenentladungen miteinander vergleichen, die bei derselben Expositionszeit aufgenommen sind. Bei den oben reproduzierten Aufnahmen ist die Belichtungszeit so gewählt, daß der im Auge bei direkter Betrachtung des Funkenbildes hervorgerufene Eindruck tunlichst wiedergegeben wird.

vergrößert. Trifft man hierbei die Anordnung so, daß die Tonhöhe des Unterbrechers — und also auch seine Frequenz — immer dieselbe bleibt, so ist die dem Induktor zugeführte effektive Energie der Stromstärke proportional.

Außer von der Stromdichte bzl. Spannung hängt jedoch die Unterbrechungszahl auch, wie sich leicht aus den Bedingungen, unter denen die Erscheinung überhaupt auftritt, schließen läßt, von der Selbstinduktion der Primärspule und, da diese wiederum von der Beschaffenheit und der Belastung der Sekundärspule beeinflußt wird, auch von dieser ab. Die Unterbrechung kann daher unter Umständen bei einer zu geringen Selbstinduktion der Primärwickelung, ganz aussetzen (Stromumschlag). Es ist dann angezeigt, dem Unterbrecher in solchen, allerdings seltenen Fällen noch einen besonders gestalteten Vorschaltwiderstand mit möglichst hoher Selbstinduktion zu geben. Die Firma Ferd. Ernecke-Berlin, welche auch den Vertrieb des Unterbrechers in Händen hat, fertigt geeignete Vorschaltwiderstände an, deren letzte Windungen dem Strom so gut wie kein Ohmsches Hindernis mehr bieten, dagegen stark induktiv gestaltet sind (Fig. 58).

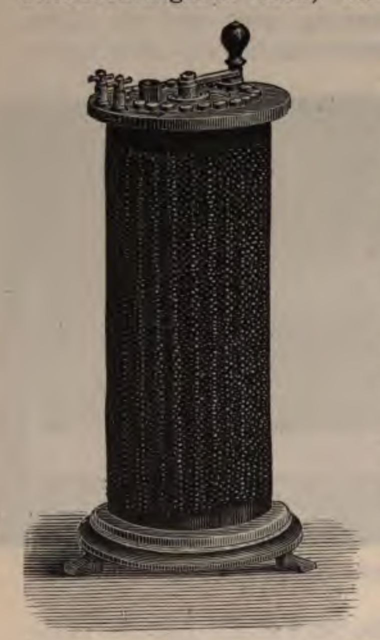


Fig. 58. Induktiver Vorschaltwiderstand.

Induktoren älterer Bauart, deren Primärwickelung meist für die Aufnahme schneller Schwingungen nicht geeignet ist, lassen sich mit Erfolg durch diesen, wie durch jeden anderen schnell arbeitenden Unterbrecher, nicht betreiben; sie kommen für Röntgenzwecke daher ernstlich nicht mehr in Frage.

Wenn der Wehnelt-Unterbrecher seine glänzendsten Eigenschaften bei hoher Betriebsspannung entfaltet, so ist er jedoch auch für geringere Spannungen verwertbar, falls die Primärspule des Induktors hierzu qualifiziert ist. Das trifft bei den meisten der modernen Instrumente zu. Der Verfasser konnte z. B. noch bei einer Spannung von 24 Volt vorteilhaft arbeiten, mit einer wesent-

lich höheren Unterbrechungszahl, als sie etwa der Deprez-Unterbrecher liefert.

Die Energiemengen, welche der Unterbrecher durch seine scharfen, reinen und häufigen Impulse der Sekundärspule zuführt, sind in hohem Grade überraschend, die Funkenlängen kaum etwas verringert, ja bei kleineren Induktoren sogar nicht unwesentlich gesteigert. Dabei läßt sich die Frequenz je nach der angewandten Spannung und der Selbstinduktion der Primärspule bis auf 1700 Unterbrechungen und mehr in der Sekunde steigern. Die hieraus entspringenden Vorteile für die Röntgenpraxis liegen zu Tage. Dank der hohen Unterbrechungszahl ist für den Beobachter am Fluorescenzschirm auch nicht das leiseste Flackern und Zucken des Gesichtsfeldes lästig; der Schattenwurf hat die Ruhe einer Photographie und bietet dem Studium die feinsten Details dar. Infolge der hohen Energieabgabe ist das Fluorescenzfeld fast blendend hell und erlaubt bei größerem Röhrenabstande als sonst die Projektion scharfer Konturen.

Das gleiche gilt für photographische Aufnahmen, bei denen namentlich durch die große Anzahl der pro Zeiteinheit auf die Platte wirkenden Eindrücke eine gegen früher bedeutend gekürzte Expositionszeit genügt. Die in diesem Buche reproduzierten Aufnahmen wurden mit dem elektrolytischen Unterbrecher bei einer Betriebsspannung von 110 Volt gemacht. Die Leser werden sich an den beigedruckten Angaben über Expositionszeit, Induktor u. s. w. selbst ein Urteil über den Wert des Unterbrechers bilden können.

Als Beispiel für die Steigerung der Leistungsfähigkeit auch kleinster Induktoren sei erwähnt, daß der Verfasser mit einem für 2 cm Funkenlänge gebauten Instrument eine Aufnahme der Handknochen in 5 Sekunden erzielen konnte. Die Zahl der Unterbrechungen war der Tonhöhe nach nicht unter 800 in der Sekunde. Dasselbe Instrument zeigte sich für Durchleuchtung und direkte Beobachtung der oberen Extremitäten völlig geeignet.

Ohne Übertreibung darf man daher sagen, daß der Röntgentechnik in dem elektrolytischen Unterbrecher eine bedeutende Hilfskraft erwachsen ist. Nicht zuletzt vom pekuniären Standpunkt aus. Denn abgesehen davon, daß das Instrument selbst verhältnismäßig sehr wohlfeil ist, keinerlei sich bewegende Teile enthält und zu seinem Betriebe keines strom- und geldverzehrenden Nebenschlusses bedarf, verbilligt es auch durch den Fortfall des Kondensators und durch die Erhöhung des Transformations-Nutzeffektes die

Anschaffungskosten für den Induktor. Für größere Instrumentarien kann, soweit die genannten Apparate in Frage kommen, hierdurch eine bedeutende Ersparnis erzielt werden.[1])

Aber der einfache Apparat verlangt für den Gebrauch eine sehr gewissenhafte technische Durchbildung und namentlich für die isolierenden Teile ein ausgesuchtes Material, das den heftigen mechanischen und chemischen Angriffen gewachsen ist.

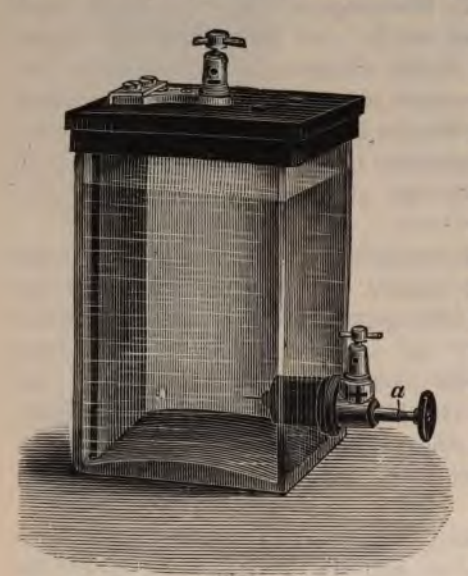


Fig. 59. Wehnelt-Unterbrecher mit seitlicher Anode.

In der Erneckeschen, recht brauchbaren Ausführung besteht der elektrolytische Unterbrecher aus einem viereckigen, mit einem durchlöcherten Hartgummideckel versehenen Glastrog (Fig. 59), in den seitwärts ein durchbohrtes Isolationsstück zur Aufnahme des von außen regulierbaren Platinstiftes säuredicht eingeschraubt ist. Durch eine Metallschraube mit Hartgummikordel kann der Platinstift aus seiner isolierenden Gummihülse vorgeschoben werden. Die Strecke, um welche der Platinstift aus dem Isolationsstück jeweilig in die Säure hineinreicht, also seine wirksame Länge, kann an einer auf der Stange eingeritzten kurzen Millimeterteilung abgelesen werden. Bei der Nullstellung fällt der Nullstrich mit der Kante des Ansatzröhrchens *a* zusammen. Die Klemme auf dem Deckel des Troges ist mit der Bleikathode verbunden. Das Gefäß wird mit verdünnter Schwefelsäure vom spez. Gewicht 1,18 (22° Bé.) bis etwa fingerbreit unter den Rand gefüllt.[2]) Zum Betriebe wird die seitliche, mit + bezeichnete Klemme mit dem positiven Pole der Stromquelle verbunden; die übrigen Verbindungen erfolgen nach Fig. 54 oder 55. Die Einstellung der Stromstärke geschieht, wie

[1]) Über die Verwendung des Wehnelt-Unterbrechers im Wechselstrombetriebe siehe Seite 95.

[2]) Etwa 1 Teil Schwefelsäure auf 20 Teile Wasser.

schon erwähnt, durch Vorschieben des Platinstiftes mit Hilfe der seitlichen Hartgummikordel. Man beginne zunächst mit der geringsten Stromstärke, bei welcher der Unterbrecher überhaupt anspricht und steigere erst allmählich den Effekt durch Vergrößern der Stromstärke und, falls die Bauart des Induktors einen induktiven Vorschaltwiderstand nötig macht, auch durch successives Ausschalten desselben.

Unsere gangbaren Röntgenröhren vermögen allerdings bei größe-

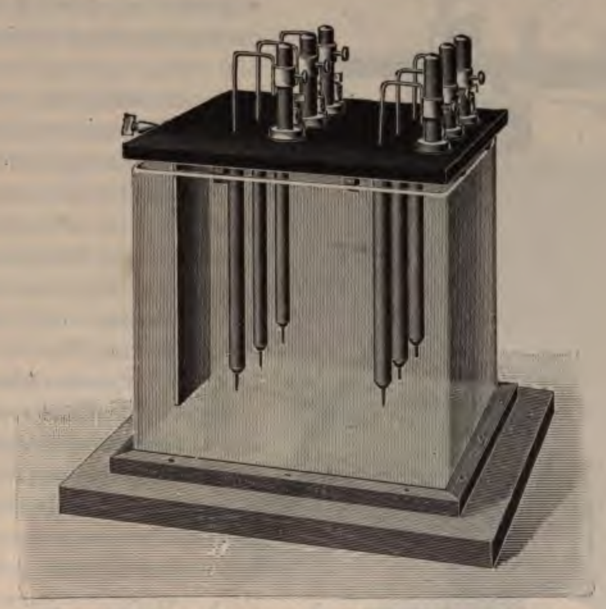


Fig. 60. Wehnelt-Unterbrecher mit sechs vertikalen Stiften.

ren Induktoren die volle Energieleistung des Unterbrechers nicht auszuhalten, da ihre Platin-Antikathoden unter der Wucht der auf sie prallenden Kathodenstrahlen leicht verbrennen. Röhrenkonstruktionen, bei denen u. a. die Kathode und Antikathode eine besonders dicke Metallhinterlegung oder eine Wasserkühlung besitzen, werden im Abschnitt V besonders besprochen.

Neuerdings hat die Konstruktion des Wehnelt-Unterbrechers insofern eine Änderung erfahren, als man die Stopfbüchse für den Stift meist von oben her einführt. Hierdurch wird eine eigentliche Abdichtung überflüssig. Die in dem Porzellanrohr aufsteigende Säure kann man anstandslos durch ein seitliches Ausflußröhrchen

abführen, falls man nicht vorzieht, das Führungsrohr nach oben konisch zu erweitern und zu einem hinreichend geräumigen Reservoir auszugestalten. Bei den besseren Unterbrechern wird auch in dieser Ausführung der Platinstift mit Regulierung und Skala versehen.

Sehr zu empfehlen ist die Aufstellung des Unterbrechers in einem benachbarten Zimmer oder vor dem Fensterbrett, da hierdurch der, nervöse Patienten oft beunruhigende, Lärm vermieden wird. Freilich ist dann die Regulierung erschwert. Man hilft sich, indem man entweder die Stiftkordel mit einem Schnurlauf versieht oder mehrere Stifte von ungleicher Länge in einem Unterbrecherkasten anordnet. In letzterem Falle dient dann ein Pachytrop zum einschalten. Fig. 60 zeigt einen von Ernecke und Siemens & Halske ausgeführten Unterbrecher mit sechs Stiften.

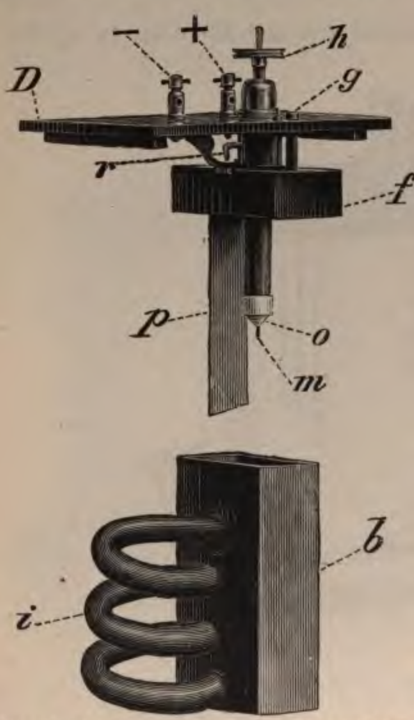


Fig. 61. Innere Einrichtung eines Wehnelt-Unterbrechers mit Kühlvorrichtung.

An der schnellen Erwärmung der Unterbrecherflüssigkeit erkennt man, daß ein nicht unbeträchtlicher Teil der elektrischen Energie in dem Unterbrecher zu Grunde geht. Die stark erhitzte Säure greift schließlich die Hartgummiteile heftig an und macht den Unterbrecher schnell defekt. Handelt es sich daher um einen Dauerbetrieb — was wohl schon der hohen Anschaffungskosten für die Röhren wegen selten der Fall ist — so verlangt der Unterbrecher besondere Kühlvorrichtungen. Am einfachsten versieht man das Glasgefäß mit einem Mantel von Blech und füllt Eisstückchen in den Zwischenraum. Ernecke zieht es vor, der Anode eine kastenförmige, mit seitlicher Kühlschlange *i* versehene Ummantelung *b* zu geben (Fig. 61) und die ganze Vorrichtung in ein größeres, vom Leitungswasser durchströmtes Zinkgefäß *k* zu setzen (Fig. 62).

Dem Wehnelt-Unterbrecher eng verwandt und eigentlich auf demselben Prinzip beruhend ist ein etwas später von Simon angegebener Flüssigkeitsunterbrecher. In ihm werden nicht an einem Platinstift, sondern an einer Öffnung eines die Zelle teilenden Diaphragmas die Stromfäden zusammengeführt und bewirken hier die lokale Verdampfung der verdünnten Säure. Der Prozeß verläuft sonst wie beim Wehnelt-Unterbrecher, die Entladung der Primärspule dissoziiert den Wasserdampf und die Flüssigkeit fällt wiederum zusammen. Unsere Leser werden sich leicht an der Hand der Fig. 63 eine Vorstellung vom Simonschen Unterbrecher machen können. Ein cylindrisches Glasgefäß ist durch einen Bleideckel verschlossen und enthält in seinem Innern eine großflächige Bleikathode sowie ein weites Porzellanrohr, das die Anode verbirgt. Seitlich oder unten ist das Porzellanrohr mit einer kleinen Öffnung versehen. Hier vollzieht sich der Unterbrechervorgang unter der schon vom Wehnelt-Unterbrecher her bekannten Leuchterscheinung.



Fig. 62. Wehnelt-Unterbrecher mit Kühlung.

Der Simonsche Loch-Unterbrecher hat sich neben dem Wehnelt-Unterbrecher in der Praxis nicht recht einzubürgern vermocht, da er erst bei Spannungen von mehr als 130 Volt wirklich exakt arbeitet.

Dem Anfänger dürfte das Arbeiten mit dem Wehnelt-Unterbrecher wegen der Abhängigkeit desselben von den induktiven Verhältnissen des Induktors vielleicht einige Schwierigkeiten bereiten. Besonders fällt es ihm schwer, mit geringer Stromstärke auf weiche Röhren zu arbeiten, und er neigt dann leicht zu der oft gehörten Klage, daß der Wehnelt-Unterbrecher sich den jeweiligen Bedürfnissen des Betriebes nicht anpassen lasse. Das ist ein großer Irrtum.

Im allgemeinen ist es stets möglich, durch geeignete Verwendung von Selbstinduktion und passende Regulierung des Stiftes alle Stromstärken einzustellen.

Ein Beispiel aus der Praxis möge die Verhältnisse illustrieren.

Wir nehmen zunächst an, daß der Stift eine mittlere Länge habe und an ihm — genügende Selbstinduktion der Primärspule vorausgesetzt — die Unterbrechungen mit gewünschter Frequenz prompt von statten gehen. Es möge sich jedoch herausstellen, daß die Stromstärke für die Röhre eine zu hohe ist. In solchen Fällen pflegt man dann den Stift etwas zurückzuziehen. Der Erfolg ist aber nicht immer der gewünschte. Zweierlei kann nämlich eintreten: Im Falle I wird die Stromstärke entsprechend vermindert, da die Spannung steigt, jedoch die Stromdichte gesteigert und die Unterbrechungszahl erhöht. Schaltet man dann Widerstand hinzu, so geht die Frequenz auf den alten Wert zurück und der gewollte Effekt ist erreicht. Im Falle II — und das geschieht recht häufig — setzt jedoch der Unterbrecher bei stark verkürztem Stift aus. Es tritt unter einem charakteristischen Glimmen der bereits auf Seite 79 besprochene „Stromumschlag" ein. Bisweilen bringt dann ein kurzes Ausschalten und Wiedereinschalten des Stromes vorübergehend Hilfe, doch ist dies Mittel ebenso lästig wie unzuverlässig. Es fehlt vielmehr an genügender Selbstinduktion und der Unter- …rvorgang tritt sofort wieder ein, sobald man eine Spule aus …t dicken und zahlreichen Windungen in den Stromkreis



Fig. 63. Simonscher Flüssigkeitsunterbrecher.

legt.[1]) Ein in die Spule gesteckter Eisenkern kann die Selbstinduktion bis etwa auf das Zehnfache des Anfangswertes erhöhen. Man wird somit für alle Stromstärken die passende Selbstinduktion finden können. Ökonomisch arbeitet man natürlich mit einer derartigen Einrichtung nicht, denn die in der Spule zu Grunde gehende elektrische Energie könnte dem Induktor zugute kommen. Daraufhin zielt denn auch eine Vorrichtung, die als Walterschaltung in der Röntgentechnik bekannt geworden ist.

Walter stattet die Primärrolle des Induktors mit variabler Selbstinduktion aus, indem er die Wickelung vierfach oder noch öfter unterteilt und sie mittels eines einfachen am Stirnende der Primärspule befestigten Stöpselpachytrops entweder hintereinander, in zwei Serien parallel, oder ganz parallel schaltet. Auf Seite 54 haben wir einen mit Walterschaltung versehenen Induktor von Kohl in Chemnitz abgebildet. Die drei Stöpselkontakte sind nach der durch sie bewirkten Kombination oder zur Bequemlichkeit des Benutzers, gleich nach ihrer Verwendungsart bezeichnet. Folgende drei Kombinationen sind vorgesehen.

Stöpsel I: Sämtliche Windungen sind hintereinandergeschaltet, die Selbstinduktion daher am größten. Der Platinstift des Unterbrechers kann stark verkürzt werden, ohne daß Stromumschlag zu befürchten wäre. Schaltung für kleine Stromstärken und sogenannte weiche Röhren (vergl. Abschnitt V).

Stöpsel II: Die Windungen sind in zwei Serien parallel geschaltet, die Selbstinduktion ist gesunken. Es kann ein längerer Stift angewendet werden, ohne daß die Frequenz wesentlich sinkt. Größere Stromstärke. Schaltung für mittelweiche Röhren.

Stöpsel III: Die Windungen sind sämtlich parallel geschaltet. Geringe Selbstinduktion ermöglicht langen Platinstift. Große Stromstärke. Schaltung für harte Röhren.

Der Wehnelt-Unterbrecher unterscheidet sich noch insofern von allen übrigen, als er nicht, wie diese, zwangsläufig ist, sondern von den induktiven Verhältnissen, insbesondere auch von der Strombelastung der Sekundärspule abhängt. Die Selbstinduktion der

---

[1]) Eine Drahtspule induziert in sich selbst einen Strom, der dem primär-eintretenden entgegengesetzt gerichtet ist (Seite 48), sie ist mithin mit den Eigenschaften der Selbstinduktion begabt oder besitzt — wie der Physiker sagt — einen Selbstinduktionskoëffizienten. In der Technik hat man sich daran gewöhnt, eine Drahtspule schlechtweg als „Selbstinduktion" zu bezeichnen. Das ist kurz, aber natürlich ebenso schlecht.

Primärspule beeinflußt ihn zwar zunächst, aber erstere schwindet mit wachsender Leistung der Sekundärspule, sie ist fast vernichtet, wenn diese kurzgeschlossen wird. In diesem ersteren Falle schlägt dann der Unterbrecher um, sonst erhöht er bei steigender Beanspruchung der Sekundärspule nur seine Frequenz — immer unter sonst gleichen Verhältnissen. Da die Röntgenröhren je nach dem Grade ihrer Härte die Sekundärspule mehr oder weniger belasten, und zwar die weichen mehr als die harten, ferner der Härtegrad derselben Röhre sich während ein und derselben Exposition wesentlich verändern kann, wird der geübte Operateur Variationen in der Tonhöhe des Unterbrechers nicht unbeachtet lassen, vielmehr aus ihnen einen Schluß zu ziehen wissen, ob er die Röhre in dem betreffenden Falle noch weiter benutzen darf oder nicht (vgl. Abschnitt V).

C. Die Unterbrecher für Wechselstrom.

1. Platinunterbrecher.

Die bisher besprochenen Unterbrecher eignen sich nur für Gleichstrom. Handelt es sich darum, einen Wechselstrom für den Induktorbetrieb zu verwenden, so muß, falls man nicht zu einer Transformation des Wechselstromes in Gleichstrom seine Zuflucht nehmen will,[1]) der Unterbrecher wesentlich anders konstruiert sein.

Ein Wechselstrom ist dadurch charakterisiert, daß er nicht nur zeitlich seine Richtung, sondern auch seine Stärke (Intensität) verändert. Wir haben gelegentlich der Auseinandersetzung über die Vorrichtungen zum Laden der Akkumulatoren bereits alles Wissenswerte über die Eigenschaften der Wechselströme gesagt (Seite 29). Um jedoch dem Leser das Nachschlagen zu ersparen, mögen die wichtigsten Punkte hier nochmals im Zusammenhange erörtert sein.

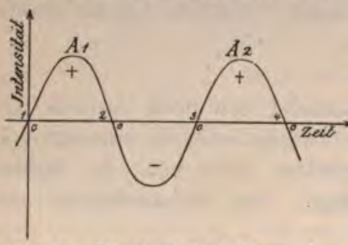


Fig. 64. Charakteristische Kurve eines Wechselstromes.

Die in Fig. 64 reproduzierte Kurve stellt den zeitlichen Verlauf eines Wechselstromes dar und zwar so, daß die Zeiteinheiten von links nach rechts als Längen, die zu den Zeiten gehörigen Stromintensitäten in den Zeitpunkten als Höhen aufgetragen sind.

[1]) Vgl. Seite 33.

Die Intensität des Wechselstromes wächst an von dem Betrage *O* bis zu einem gewissen Höchstwert A_1, um darauf wieder auf den Betrag *O* herabzusinken. Ist die Intensität gleich *O* geworden, so wechselt der Strom seine Richtung. (Die Polarität kehrt sich um, in der Figur angedeutet durch die Zeichnung unter der Horizontalen.) Eine Stromklemme, welche eben noch positiv war, wird daher nun negativ. Die Stromstärke nimmt wiederum zu, erreicht einen zweiten Höchstwert und kehrt hierauf zum Wert *O* zurück, um, abermals die Richtung wechselnd, in A_2 zu kulminieren u. s. w.

Die Strecke der Kurve zwischen den beiden Punkten 1 und 3 wird eine Periode genannt; sie besteht aus einer positiven und einer negativen Phase, d. h. sie enthält einen zweimaligen Wechsel der Stromrichtung. Die Wechselstromzentralen entsenden einen Strom von meist 60—100 Wechseln in der Sekunde. Dieser würde nach den Bedingungen, welche auf Seite 42 angeführt sind, an und für sich befähigt sein, der Primärspule zugeführt, in der Sekundärspule einen Induktionsstrom zu erzeugen. Da dieser jedoch ebenfalls den Charakter des Primärstromes besitzt, also ebenfalls ein Wechselstrom ist, kann er zum Betriebe einer Röntgenröhre nicht verwendet werden.

Es bleibt mithin nichts übrig, als die gleichartigen Phasen des Erregerstromes, etwa die negativen, zu unterdrücken, nur die positiven auszunutzen und die induktiv wirkenden Unterbrechungen in den Momenten der höchsten Stromintensität vorzunehmen.

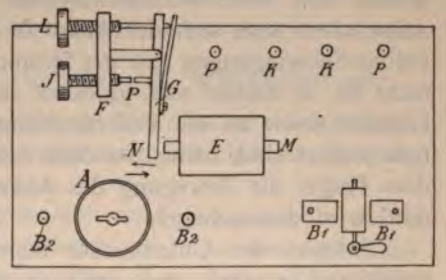


Fig. 65. Prinzip des Kohlschen Wechselstrom-Unterbrechers.

Voraussetzung für alle Wechselstromunterbrecher ist mithin, daß sie mit dem Phasenwechsel der Stromquelle gleichen Takt halten. Dieser Synchronismus läßt sich auf verschiedene Weise erreichen. Der Platinunterbrecher von Kohl in Chemnitz ist dem Prinzip nach jedenfalls der verständlichste.

Man denke sich einen Deprez-Unterbrecher (vgl. Seite 59) vor dem Kern eines Elektromagneten *E* (Fig. 65) angeordnet, welcher durch Wechselstrom gespeist wird und mit demselben seine Polarität ändert.

Dann steht dem Anker *G* des Unterbrechers in rascher Folge

einmal der Nordpol und darauf der Südpol des Magneten gegenüber, die beide den Anker anziehen würden, wenn er aus unmagnetischem weichen Eisen bestünde. Sein Material ist jedoch Stahl und er selbst ein permanenter Magnet, der im Gegensatze zu dem Elektromagneten E seine Polarität nicht wechselt, so daß im Phasenrhythmus der Stromquelle sich abwechselnd gleichnamige und ungleichnamige Magnetpole gegenüberstehen. Von letzteren weiß man, daß sie sich anziehen, von ersteren, daß sie sich abstoßen.

Die als negativ bezeichnete Richtung des Wechselstromes möge N gegenüber in E einen Nordpol erzeugen und der permanente Ankermagnet G möge bei N ebenfalls einen festen Nordpol haben. Dann wird jede negative Phase des Erregerstromes den Anker abstoßen und die Platinkontakte P aneinanderpressen.

Hingegen bewirkt eine positive Phase ein Anziehen des Ankers und eine Trennung der Platinkontakte.

Da der den Induktor speisende Strom demselben Leitungsnetz entnommen wird, das auch dem Unterbrechermagneten Energie liefert, so folgt, daß durch die Unterbrechung nur gleichnamige Phasen des Stromes (in diesem Falle die positiven) auf den Induktor zur Wirkung kommen. Durch justieren der Federkordel L wird die Ankerspannung so gewählt, daß der Strom nur in den Momenten seiner größten Intensität, also in den Punkten $A_1 A_2 \ldots$ der Kurve, die Kontakte P voneinander zu reißen vermag.

Die älteren Kohlschen Instrumente entsprechen dem Schema ganz genau. Die Klemmen B_2 neben dem Unterbrecherausschalter A werden mit dem Wechselstromnetz verbunden. Nach Schluß des Ausschalters setzt sich der Anker in Bewegung, indem er in synchrone Schwingungen mit der Stromquelle gerät. Spricht er jedoch nicht an, so ändere man zunächst an den Einstellungen der Platinkontakte sowie an der Federspannung, welche von der Fabrik bereits justiert sind, nichts, sondern bemühe sich durch Anstoßen mit dem Finger die Bewegung des Ankers einzuleiten. Bei einiger Geduld wird dies gelingen.

Arbeitet der Unterbrecher dennoch nicht, so ist die Federspannung zu stark und muß an der Kordel L vorsichtig etwas nachgelassen werden. An dem verschiebbaren Elektromagneten ver-
[illegible]e man nichts.

[illegible] die Federspannung zu gering, so arbeitet der Unterbrecher [illegible]nd unterbricht unter Umständen auch die negativen Phasen. [illegible]ktor liefert dann Wechselstromfunken, die abwechselnd auf [illegible] und den Rand der Platte überspringen und in ihrer Er-

scheinung unabhängig von der Stellung des Stromwenders sind. Man zieht dann die Kordel L an und überzeugt sich durch Umlegen des Stromwenders, daß der Induktor wirklich Gleichstrom liefert. Die Funken schlagen dann von der Spitze mehr nach der Mitte der Platte über und eine der beiden Stromwenderstellungen ist für die Ausbildung der Funken die günstigere. (Vgl. Seite 50.) Die Platinkontakte werden so einreguliert, daß die Funkenlänge ein Maximum wird.

Die Klemmen B_1 werden mit Hilfe eines Regulierwiderstandes (Abschn. VI) an die Leitung angeschlossen. Der Kondensator und die Primärspule des Induktors stehen mit den Klemmen KK bezgl. PP in Verbindung (für Induktoren mit Stromwender wie unter II, Seite 65, ohne Stromwender wie unter III. Seite 66 beschrieben).



Fig. 66. Neuerer Kohlscher Wechselstrom Unterbrecher nach Kochschem System.

Fig. 66 zeigt die neuere Ausführungsform des Apparates. Bei Bestellungen ist es nötig, die Spannung und Periodenzahl des Wechsel- oder Drehstromes anzugeben, der in der Röntgenanlage Verwendung finden soll.

2. Quecksilberstrahlunterbrecher für Wechselstrom.

Der bereits auf Seite 75 beschriebene Quecksilber-Turbinen-Unterbrecher läßt sich für Wechselstromunterbrechungen ebenfalls verwenden.

Statt von einem Gleichstrommotor wird er nun von einem Wechselstrommotor angetrieben, welcher aus besonderen Gründen mit der stromliefernden Dynamomaschine stets gleichen Takt hält. Die Einrichtung wird so getroffen, daß der Quecksilberstrahl jedesmal dann ein Metallsegment verläßt, wenn der Strom seine größte Intensität in positivem oder negativem Sinne erreicht hat. Die Segmentstücke sind so gestellt, daß die Unterbrechungen nur auf dem Gipfel der gleichnamigen Phasen erfolgen.

Die Gestalt des Turbinenunterbrechers der Allgemeinen Elek-

trizitäts-Gesellschaft für Wechselstrom ist von der für Gleichstrom beschriebenen Ausführung wesentlich verschieden (Fig. 67). Da ein absolutes Synchronlaufen von Motor und Turbine erfordert wird, muß jede gleitende Riemenverbindung zwischen beiden Teilen vermieden werden. Motor und Turbine sitzen daher auf derselben Achse, und zwar ist der Motor über dem Turbinengehäuse angeordnet.



Fig. 67. Turbinen-Unterbrecher für Wechselstrom.

Aus Gründen rein technischer Natur ist es sehr schwer, einen kleinen Synchronmotor herzustellen. Der Synchronismus mit der Stromquelle wird in diesem Falle durch einen besonderen Kunstgriff erreicht, dessen innere Begründung an dieser Stelle nicht möglich ist. Es wird nämlich nur der rotierende Anker der kleinen Maschine vom Wechselstrom der Leitung durchflossen, während der feststehende Magnetkranz durch den Gleichstrom einer kleinen Batterie gespeist wird. Handrad und Schnurlauf gestatten, den Motor, welcher von selbst nicht angeht, in das erforderliche Tempo zu bringen, das leicht am flackerfreien Licht der Röntgenröhre erkannt wird. Die Schaltung des Unterbrechers zum Induktor erfolgt nach Seite 65 wie dort unter I angegeben.

3. Wehnelt-Unterbrecher für Wechselstrom.

Schließlich läßt sich auch der Wehnelt-Unterbrecher (vgl. Seite 78) ohne jede Veränderung mit gutem Erfolg zur Unterbrechung von Wechselströmen verwenden.

Der Vorgang, welcher sich hierbei innerhalb des Unterbrechers vollzieht, ist folgender: Die Platinspitze wechselt im Phasenrhythmus der Stromquelle ihre Polarität und wird abwechselnd zur Anode und Kathode, aber während die Erscheinungen im ersteren Falle ind, welche wir bereits kennen lernten, tritt im zweiten ders gestaltetes Phänomen auf. Die Unterbrechungen ıarf ausgeprägten Charakter. Infolgedessen läßt ›irksam nur die eine Reihe der gleichnamigen)sitive) hindurch und ist daher nicht nur ein

Unterbrecher, sondern auch ein Stromrichtungsscheider in Bezug auf das Resultat an den Polen der Induktorspule.

Was dem elektrolytischen Unterbrecher einen ganz besonderen Wert verleiht, ist der schon angeführte Umstand, daß er für Wechselstrom die gleiche Einrichtung wie für Gleichstrom behält und daß alle Schaltungen dieselben bleiben, unbekümmert um die Art des Betriebsstromes. Mithin gelten die auf den Seiten 81 und 131 für den elektrolytischen Unterbrecher gegebenen Stromlaufschemata ohne jede Änderung auch für den Fall, daß das Leitungsnetz Wechselstrom liefert.[1])

Die Plusphasen werden jedoch nicht nur einmal, wie bei den synchron laufenden Unterbrechern, sondern mehrere Male unterbrochen. (Abhängigkeit der Unterbrechungszahl von Stromdichte [Spannung] und Selbstinduktion, siehe Seite 90.) Die Frequenz ist daher nicht gleich der Periodenzahl der Stromquelle, sondern in gewissen Grenzen variabel.

Freilich ist die Ökonomie nicht viel größer als bei dem Platinunterbrecher, da hier wie dort die nicht induktiv gestaltete zweite Phasenreihe, wenn auch wegen des auftretenden Stromumschlages in verringerter Stärke, hindurchgelassen wird.

Wesentlich wirtschaftlicher wird der Unterbrecher durch Verwendung eines Aluminiumbleches statt der Bleielektrode. Diese Anordnung hat die Eigentümlichkeit, daß sie den Strom in der Richtung von der Platinspitze zum Aluminium leichter hindurchläßt als umgekehrt und dabei etwa 20 Volt der Betriebsspannung vernichtet. (Graetzscher Effekt.)

Die beste Ausnutzung läßt sich allerdings (nach Swinton) auf folgende Weise erreichen. Der Wechselstrom durchfließt nicht nur einen, sondern zwei nebeneinander geschaltete Unterbrecher, welche in Bezug auf Spitze und Platte eine gekreuzte Stellung haben. Indem nun jede Stromrichtung ihren Weg durch einen der beiden Unterbrecher findet, wird sowohl die positive als die negative Phasenreihe induktiv wirksam unterbrochen. Allerdings gibt die Sekundärspule des Induktors dann Wechselstrom, der für Röntgenröhren unbrauchbar ist. Swinton stellt daher die Primärspule aus zwei übereinander gewickelten Windungsreihen her, deren zweite der ersten entgegenläuft. Werden diese mit je einem der wie vorstehend geschalteten Unterbrecher verbunden, so wird in der Tat der Sekundärstrom stets in gleicher Richtung induziert werden. Es kommen daher beide Phasenreihen induktiv zur Geltung.

[1]) Das für die Gleichstromanordnung erforderliche Aufsuchen der Pole entfällt natürlich, da eine dauernde Polarität nicht vorhanden ist.

Eingehende Versuche haben den Unterbrecher für Wechselströme in der praktischen Form von 100 Perioden und 110 Volt Spannung tauglich gezeigt. Die obere Grenze für die Spannung scheint 180 Volt zu sein, bei welcher bereits beide Stromrichtungen induktiv gestaltet werden und daher in der Sekundärspule ebenfalls einen Wechselstrom hervorrufen. Die untere Grenze der Spannung ist diejenige, bei welcher der Unterbrecher überhaupt anspricht, also etwa 25 Volt.

Der Platinstift wird beim Wechselstrombetrieb nicht unbeträchtlich angegriffen; man wähle ihn daher stark genug.

Die Reinigung des Quecksilbers.

Das in den Quecksilberunterbrechern schnell verschlammende Quecksilber kann auf folgende einfache Weise durch Filtration leidlich gut von den anhaftenden Unsauberkeiten befreit werden. Ein gewöhnlicher Glastrichter (Fig. 68) wird mit einem gläsernen Ansatzrohr von etwa 30 cm Länge, welches am unteren Ende etwas umgebördelt und mit einem Stückchen gewöhnlichen festen Fensterleders zugebunden ist, versehen.

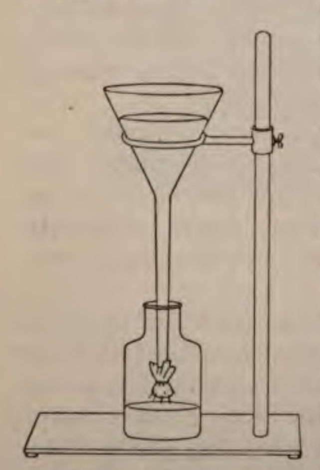


Fig. 68. Einfacher Apparat zur Destillation des Quecksilbers.

In den Trichter wird das schmutzige Quecksilber vorsichtig eingegossen, bis es am unteren Ende das Leder in feinen Strahlen durchdringt und sich allmählich in der untergestellten Flasche ansammelt. Die ganze Vorrichtung wird in einem Stativ festgeklemmt, das seinen Platz am besten in einer Schale hat, um den Verlust von vorbeigegossenem Quecksilber zu verhüten.

Ist das Quecksilber durch Petroleum verunreinigt, so muß es vor dem Filtrieren sorgfältig erst mit Benzin und dann mit heißem Sodawasser ausgewaschen werden. Zuletzt spült man es mit reinem Wasser ab, trocknet mit Fließpapier durch Abtupfen und bringt es in den Filtrierapparat. Bei Verunreinigung des Quecksilbers durch Alkohol genügt die Abspülung mit Wasser und Trocknung mit Fließpapier vor dem Filtrieren.

Versch[illegible] werden mit Salpetersäure ausg[illegible] ausgetrocknet.

V. Abschnitt.

Die Vakuumröhren zur Erzeugung der Röntgenstrahlen.

Die Eigenheiten der Vakuumröhren zur Erzeugung der Röntgenstrahlen lassen sich am besten verstehen, wenn man die Erscheinungen beim Werdegang der Röhre verfolgt.

Der am Induktor in glänzenden Zickzackstrahlen überspringende Funke verändert sofort seine Gestalt, wenn er in eine Röhre mit verdünnter Luft eingeschlossen wird (Fig. 69, Darstellung *A*). Er wächst zu einem labilen Lichtbande von rötlicher Farbe aus, das bei steigender Luftverdünnung breiter und breiter wird und zuletzt bestrebt ist, die ganze Röhre auszufüllen.

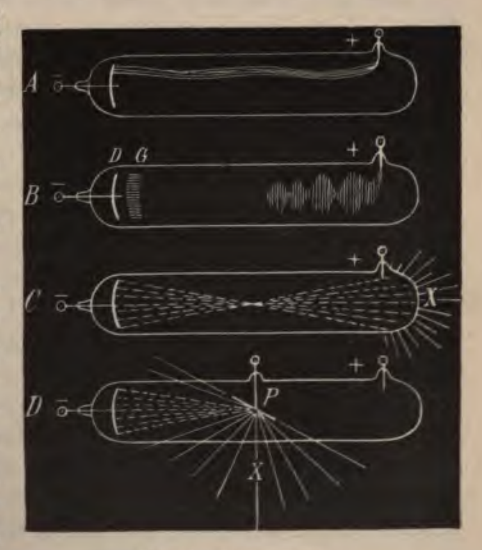


Fig. 69. Stufenröhren.

Ein noch weiter erhöhtes Vakuum zerlegt den rötlichen Lichtnebel, der gleichzeitig beginnt, sich von der hohlspiegelförmig gestalteten Kathode zurückzuziehen, in eigentümliche Schichtungen, die ihren deutlichen Ursprung an der Anode haben und deshalb als positives Licht angesprochen werden (Darstellung *B*). Während dessen ist auch an der Kathode eine bedeutsame Veränderung vor sich gegangen. Nachdem zuerst an ihr einige glänzende, von verbrennenden Unreinigkeiten herrührende Sternchen erschienen waren, bedeckt nun ein feiner bläulicher Flimmer, das die ganze Fläche.

Dem aufmerksamen Beobachter wird es dabei auffallen, daß das Glimmlicht nicht an der Kathode haftet, sondern durch eine feine, nichtleuchtende Schicht, den dunklen Raum *D*, von ihr getrennt ist. Läßt man die Luftverdünnung weiter fortschreiten, was mit Hilfe besonders konstruierter Quecksilberluftpumpen geschieht, so beginnt der, das Glimmlicht verdrängende, dunkle Raum zu wachsen, während sich gleichzeitig das positive Licht ganz auf die Anode zurückzieht. Schließlich ist dasselbe verschwunden und der dunkle Raum hat sich scheinbar über die Röhre ausgedehnt, die nun von einer ganz eigenartigen neuen Erscheinung eingenommen wird. Diese besteht aus Strahlen von fein bläulichem, dem Auge kaum sichtbarem Licht, welche von der Kathode ausgehen, rechtwinklig auf ihrer Fläche stehen und also bei einer Hohlspiegelkathode sich in einem Brennpunkt (Darstellung *C*) schneiden. Es sind die von Hittorf (1869), Crookes (1879) und besonders von Lenard (1896) u. a. untersuchten Kathodenstrahlen.

Um den bläulichen Dunst, der als Rest des Glimmlichtes die Röhre noch immer erfüllt, zu beseitigen, muß der Luftdruck auf etwa ein Milliontel des Atmosphärendruckes gebracht werden. Hierzu wird eine Erwärmung der Röhre durch einen fortdauernden Stromdurchgang nötig, welche die an den Glaswänden zäh anhaftenden Luftteilchen loslöst.

Das Kathodenstrahlenbündel erscheint nun ganz rein, aber es ist weit blasser, feiner geworden. Man bemerkt, daß sich die Kathodenstrahlen zwar geradlinig fortpflanzen, aber daß jeder Magnet imstande ist, sie aus ihrer Bahn abzulenken. Da, wo die Strahlen auf die gegenüberliegende Glaswand (bei *X*) auftreffen, erregen sie ein intensives Fluorescenzlicht, grün oder blau, je nach der Glassorte.

Es bedarf aller technischen Hilfsmittel, die Luftverdünnung so weit zu treiben, daß das Kathodenlicht völlig unsichtbar wird. Während nun alles blaue Licht aus der Röhre verschwunden ist, fluoresciert dieselbe in allen Teilen; weder an der Kathode, noch an der Anode ist mehr eine Lichterscheinung zu bemerken, aber dort, wo die unsichtbaren Kathodenstrahlen auf der Glaswand den intensiven Fluorescenzfleck erzeugen, entstehen die von Röntgen (1896) entdeckten Strahlen.

Die Entdeckungsgeschichte der Röntgenstrahlen ist zu bekannt, als daß sie hier wiederholt zu werden brauchte. Soviel sei gesagt, daß es [illegible] eine fluorescierende Substanz [illegible] rten in Würzburg auf sich

lenkte. Wer diese Erscheinung in der geringen Intensität, die ihr die ersten Vakuumröhren gaben, gesehen hat, wird den Fortschritt der Radioskopie zu würdigen wissen, er wird aber auch von Bewunderung erfüllt sein für den Forscher, der mit sicherem Blick die Äußerung der neuen Strahlung erkannte und richtig deutete.

Die Röntgenstrahlen, welche von der Glaswand nach allen Seiten hin sich in dem Raum ausbreiten, sind dem menschlichen Auge nicht sichtbar. Im Gegensatze zu den sie erzeugenden Kathodenstrahlen werden sie durch einen Magneten nicht abgelenkt, auch gehorchen sie wahrscheinlich weder den Beugungs- noch den Brechungsgesetzen, welche mit der Vorstellung einer, sich durch Wellenbewegung der Ätheratome im Raume fortpflanzenden Energiestrahlung bis jetzt untrennbar verknüpft erscheinen (Undulationstheorie von Huygens 1678).

Dieses Verhalten der Röntgenstrahlen ist vielleicht das Wunderbarste und Unerklärlichste an ihnen, aber es interessiert allein den Physiker, während ihre materiedurchdringende Kraft den beispiellosen und nachhaltigen Eindruck auf die breiteren Schichten des Publikums ausgeübt hat. Auch sie würde, ebenso wie die Strahlung selbst, den menschlichen Sinnen verborgen bleiben, wenn die Röntgenstrahlen nicht mit der Fähigkeit begabt wären, die elektrische Leitungsfähigkeit der Gase zu verändern, chemische Zersetzungen hervorzurufen und einige Substanzen zu Schwingungen einer dem Auge verständlichen Art anzuregen. Photographie und Fluorescenz sind die Haupt-Hilfsmittel zum Studium der Röntgenstrahlen. Beiden ist in diesem Buche ein besonderer Abschnitt gewidmet.

An dieser Stelle nur so viel, daß von den fluorescierenden Substanzen namentlich das Barium-Platincyanür besonders hell in grüner Farbe aufleuchtet, sobald es von Röntgenstrahlen getroffen wird. Bringt man zwischen eine die X-Strahlen aussendende Röhre und einem mit der fluorescierenden Substanz bestrichenen Schirm verschiedene Körper in gleicher Schichtendicke, z. B. Platin, Glas, Leder, Papier, Holz u. s. w., so beobachtet man an dem Schatten, welcher auf dem Schirm entsteht, daß die Objekte für Röntgenstrahlen verschieden durchlässig sind. Der vom klaren Glas herrührende starke Schatten wird besonders überraschen.

Die Untersuchung einer Reihe von Körpern hat ergeben, daß ihre Durchlässigkeit für Röntgenstrahlen von nichts so sehr abhängt, als von ihrem Molekulargewicht, womit nicht gesagt sein soll, daß [illegible] stanzen eine spezifische Durchlässigkeit besäßen.

Im allgemeinen nimmt aber die Durchlässigkeit ab mit dem Molekulargewicht und natürlich auch mit der Dicke der Körper. So kommt es, daß z. B. die Knochen der Hand, welche eine größere Dichte besitzen als das sie umgebende Fleisch, schwerer durchstrahlt und durch ihren dunkleren Schattenwurf sichtbar werden.

Bisher haben wir angenommen, daß die von den Kathodenstrahlen getroffene Glaswand die Röntgenstrahlen aussendet. Versuche haben jedoch gelehrt, daß die Emissionsfähigkeit des Glases relativ gering ist und daß es vom Platin bedeutend übertroffen wird. Infolgedessen läßt man bei allen jetzt gebräuchlichen Vakuumröhren die Kathodenstrahlen auf Platin fallen,[1]) das dort angebracht wird, wo die Kathodenstrahlen am dichtesten sind, d. h. im Brennpunkt des Kathodenhohlspiegels (Fig. 69, Darstellung *D*). Die Röntgenstrahlen gehen dann vom Platinblech *P* aus und treten, indem sie die Glaswand der Röhre durchdringen, in den Raum über und zwar in gleicher Stärke nach allen Richtungen, aus welchen die von den Kathodenstrahlen getroffene Fläche des Platins gesehen werden kann.

Man hat experimentell, wie es scheint mit Erfolg, versucht, das Platin durch eine Schicht von Uransalzen, welche allerdings eine etwas höhere Emissionsfähigkeit besitzen, zu ersetzen. Namentlich grünes Uranoxyd und Uranwolframat sollen sich nach Dr. Langer-Ohrdruf besonders eignen.[2]) Die Schwierigkeit besteht in einer sicheren Befestigung der Uranschicht auf ihrer Unterlage durch geeignete Schmelzmittel. Da die Uransalze unter dem Angriff der Kathodenstrahlen nicht allzu heiß werden dürfen, wird die Hinterlegung aus einem die Wärmezufuhr aufnehmenden Silberstück von etwa 5 mm Dicke hergestellt. Es bleibt abzuwarten, ob diese Röhren über das Versuchsstadium hinausgebracht werden können und ob sie sich den neuen Unterbrechertypen hoher Frequenz gegenüber als widerstandsfähig genug erweisen. Verfasser erinnert sich nicht, in letzter Zeit etwas von ihnen gehört zu haben.

Diese Röntgenröhren sind im Laufe der Zeit mehrfach modifiziert und in zweckmäßige Formen gebracht worden. Eine der weitaus gebräuchlichsten Typen ist in der Abbildung Fig. 70 dargestellt. Die Röhre hat, um ein möglichst großes Volumen zu erreichen, die Form einer Kugel erhalten, in welche durch Ansatzröhren die Elektroden eingeführt sind. Früher machte man den

---

Neesen und W. König.
Naturwissenschaftl. Wochenschrift (Berlin) Nr. 16, 1897.

Kathodenspiegel aus Platin, später allgemein aus Aluminium, da es sich zeigte, daß das Platin zerstäubt und sich in Form eines schwärzlichen Spiegels an den Wänden der Röhre ablagert. Auch die Anode besteht aus Aluminium und zwar nur aus einer kleinen Platte oder einem Stift.

Der Brennpunkt der Aluminium-Hohlkathode verändert seinen Platz, während die Röhre ausgepumpt wird, und zwar rückt er um

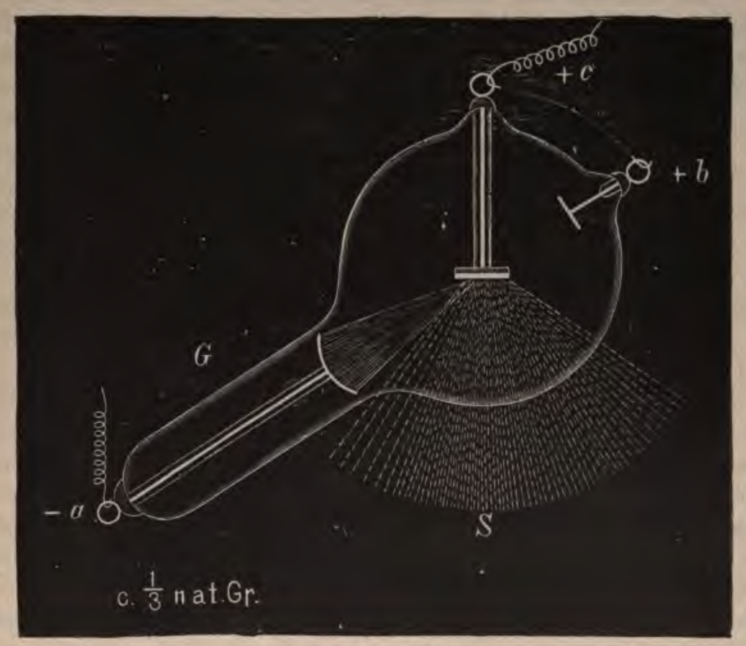


Fig. 70. Röntgenröhre.

so mehr von der Kathode ab, je weiter die Luftverdünnung vorschreitet. Es ist daher der Geschicklichkeit und Erfahrung des Glasbläsers überlassen, die Abmessungen so zu gestalten, daß bei der für die Entstehung der Röntgenstrahlen günstigsten Luftverdünnung der Brennpunkt gerade auf das Platinblech fällt. Andernfalls wird die Strahlung aussendende Stelle zu groß und entwirft unscharfe Schattenbilder.[1])

Man nennt das, die Kathodenstrahlen in Röntgenstrahlen trans-

[1]) Bisweilen ist auch allzugroße Nähe des Induktors Ursache unscharfer Bilder (siehe Abschnitt VIII).

formierende Platinblech **Antikathode** und verbindet dasselbe zweckmäßig mit der Anode aus folgenden Gründen. Durch die Strahlung der Kathode wird auch die Antikathode negativ geladen und läuft unter dem Einfluß der Kathodenstrahlen, welche sie nebst den Röntgenstrahlen ebenfalls aussendet, Gefahr, zu zerstäuben. Die Zuführung positiver Elektrizität durch Verbindung mit der Anode verhindert dies einigermaßen.

Die vorstehenden Ausführungen könnten die Anode selbst völlig zwecklos erscheinen lassen. Sie ist jedoch nicht zu entbehren. Da bei niedrigen Evakuationsgraden, also z. B. beim Auspumpen der Röhre, Wechselstromentladungen stattfinden, so würde das Platin der Antikathode, welche dann rhythmisch zur Kathode wird, zerstäuben. Man benutzt daher während des Stromdurchganges die Anode und schaltet erst nach Fertigstellung der Röhre die Antikathode an.

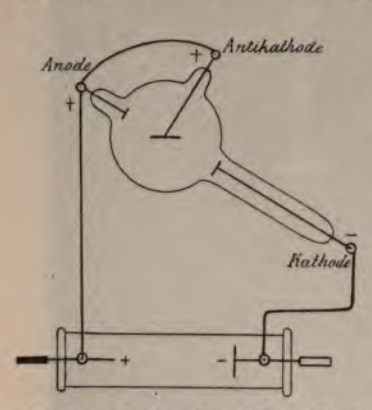


Fig. 71. Schaltung einer Röntgenröhre.

Man merke sich für den Betrieb als Hauptregel: Die Antikathode wird mit der Anode, letztere mit der positiven Elektrode des Induktors (Spitze) verbunden, die Kathode (der Hohlspiegel) erhält den Strom von der negativen Elektrode (Platte) des Induktors. (Fig. 71).[1]

Nach einiger Übung lernt man eine falsche Stromrichtung in der Röhre bald erkennen. Sie ist meist durch das Auftreten blauen Lichtes und durch einen scharfen, von der Antikathode herrührenden Schatten innerhalb der Kugel gekennzeichnet, auch ist die Emission von Röntgenstrahlen gar nicht vorhanden oder doch bedeutend verringert, was am Fluorescenzschirm leicht erkannt wird. Da eine falsche Verbindung für die Röhre meist recht schädlich ist, schaltet man diese nicht eher an, als bis man sich von der Richtigkeit der ganzen Anordnung überzeugt hat.

Für das Zustandekommen kräftiger Röntgenstrahlen ist der Grad der in der Röhre vorhandenen Luftverdünnung von der größten Bedeutung. Denn nicht nur, daß die Röntgenstrahlen bei einem bestimmten Evakuationsgrade überhaupt erst entstehen, sie verändern

[1]) Über die richtige Stellung des Stromwenders siehe Seite 49 u. f.

mit demselben auch ihren Charakter, indem bei wachsender Luftverdünnung ihre Durchdringungskraft zunimmt.

Leider ist nun der Luftgehalt der Röhren im Betrieb einer dauernden Veränderung unterworfen.

Es ist zwar möglich, durch starke Erwärmung während des Evakuierens die an den Glaswandungen haftenden Luftreste etwas zu lösen; ganz gelingt es nie. Wird nun die erwärmte Röhre bis auf den gewünschten Betrag ausgepumpt, und kühlt nach der Trennung von der Pumpe wieder ab, so wird die noch vorhandene Luft zum Teil an den Wänden niedergeschlagen und das Vakuum ist für den Stromdurchgang nicht mehr geeignet. Die Entladungen werden unruhig, flackernd und kommen schließlich gar nicht mehr zustande; man sagt dann, die Röhre sei zu hart geworden.

Anderseits bewirkt jeder Stromdurchgang eine Erwärmung der Röhre und löst Luft von den Wänden ab, so daß eine anfangs richtig evakuierte Röhre nach wenigen Minuten der Benutzung zu viel Luft enthält, um noch Röntgenstrahlen von hinreichend durchdringender Kraft auszusenden. Man bezeichnet dann die Röhre, welche meist schon blaues Glimmlicht zeigt, als zu weich.

Um den Vorgang noch zu komplizieren, nimmt auch das Platinblech der Antikathode mit den kleinen Partikelchen, die trotz aller Vorsichtsmaßregeln von ihr abfliegen, namentlich in warmem Zustande, an der Luftabsorption teil.

Infolgedessen wird jede Röhre während der Dauer jeder Benutzung meist zwar weicher (durch Stromerwärmung und Ablösen der Luft von den Wänden), im Laufe der Zeit jedoch härter und härter (durch Absorption der von den Wänden stammenden Luft durch das wiedererkaltende Platin).

Hat das Platin alle Luft von dem Glase an sich gerissen, so vermag keines der unten angegebenen Mittel die Röhre wieder stromleitungsfähig zu machen. Sie muß dann geöffnet und von neuem ausgepumpt werden. Andernfalls kann man sich folgendermaßen helfen.

I. Ist die Röhre zu hart, so erwärme man sie, um Luft von den Wänden abzulösen, vorsichtig durch eine in einiger Entfernung untergestellte Spirituslampe. Finden die Entladungen erst wieder regelrecht statt, so übernimmt der Stromdurchgang die weitere Erwärmung.

Von guter Wirkung ist meist auch ein Umschlag von in Glycerin getränktem Fließpapier (in Streifen von etwa 4—5 cm Breite) um diejenige Stelle des Ansatzrohres, welche die Kathode einschließt. Statt dessen tut ein dünner Holzcylinder,

der über das Ansatzrohr geschoben wird, ebenfalls gute Dienste. Man behaucht ihn innen vor dem Überstecken oder befeuchtet ihn mit Glycerin.[1]) Was diesem einfachen Mittel doch nicht den anfangs prophezeiten allgemeinen Eingang verschafft hat, ist die Gefahr des Durchschlagenwerdens der Röhre durch Überspringen der Funken nach dem Cylinder.

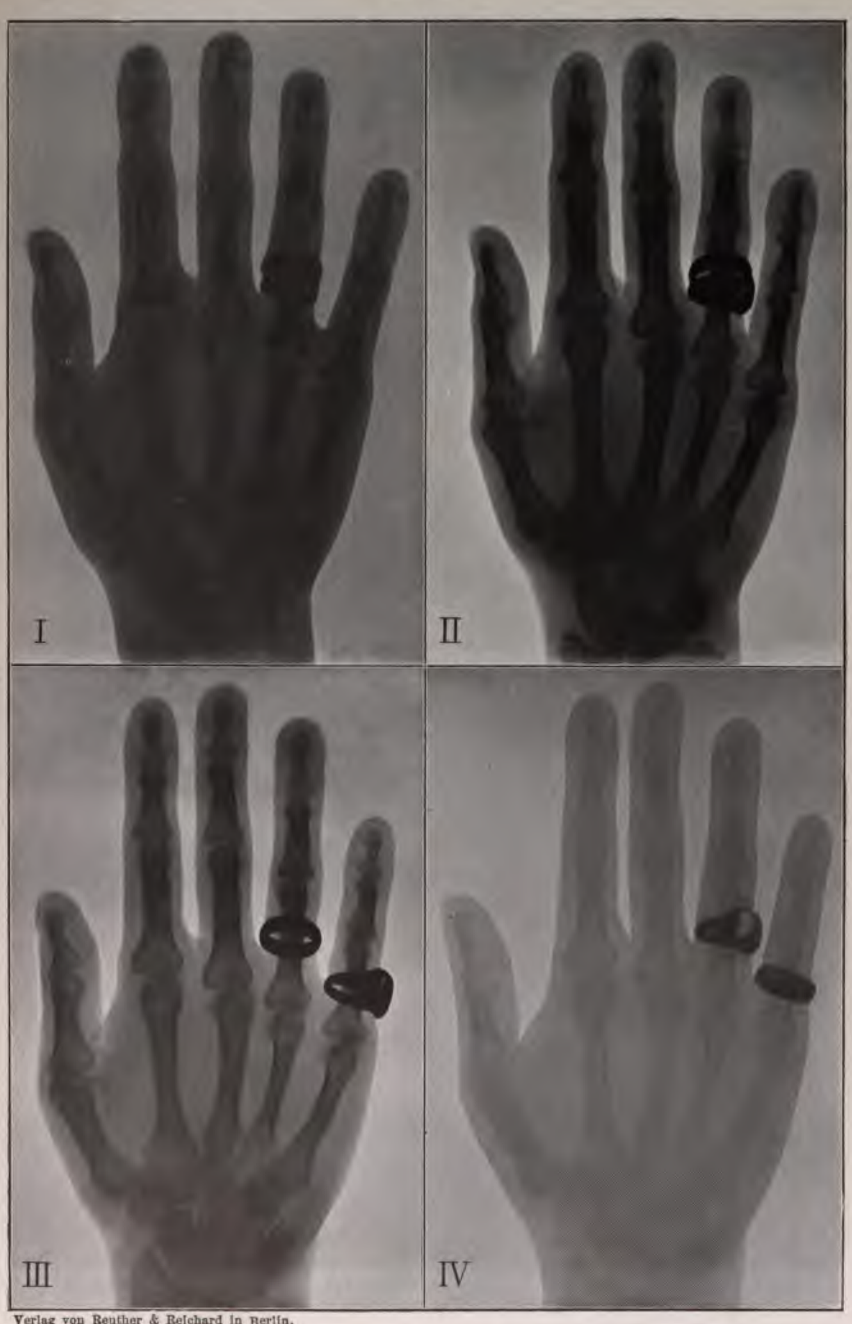
II. Ist die Röhre zu weich, dann kehre man die Stromrichtung mit Hilfe des Stromwenders auf einige Augenblicke um, bezw. vertausche man bei nicht vorhandenem Stromwender die zur Röhre führenden Drähte. Hierdurch wird das Platinblech zur Kathode und die von ihr heftig abstäubenden Teilchen absorbieren einen Teil der Luft, indem sie sich an der Glaswand als dunkler Niederschlag festsetzen. Derselbe beeinträchtigt die Wirksamkeit der Röhre nicht wesentlich. Keinesfalls darf jedoch eine schon etwas harte Röhre falsch geschaltet werden.

Am besten, man hat die angegebenen Rezepte überhaupt nicht nötig und hält sich, da für jeden Fall der Durchleuchtung (siehe Radioskopie Abschnitt VII) oft ein anderer Härtegrad notwendig ist, mehrere Röhren verschiedener Reife vorrätig.

Auf dem Beleuchtungsschirm gelingt die Beurteilung des Röhrencharakters am leichtesten. Ist die Röhre ganz weich, so erscheint das Feld schwach erhellt, der Schatten der Hand massiv, die Knochen sind kaum zu erkennen (vgl. Darstellung I, Tafel I). In diesem Zustande ist die Röhre praktisch unbrauchbar. — Mit wachsender Härte nimmt die Durchdringungskraft zu, die Strahlen beginnen zwischen Fleisch, Knochen und dem Metall des Ringes zu unterscheiden. Die Helligkeitsstufe zwischen Fleisch und Knochen ist ungefähr ebenso groß, wie zwischen Knochen und Metall (Darstellung II derselben Tafel). Das Fluorescenzfeld hat an Leuchtkraft wesentlich gewonnen und läßt eine Beobachtung der oberen Extremitäten bis zum Schultergelenk zu. Für radiographische Aufnahmen dünnerer Objekte reicht die Röhre bei diesem Härtezustand bereits aus. — Wird die Haut zwischen den Fingern fast völlig durchstrahlt, tritt die innere Struktur der Knochen hervor und heben sich die Ringe als pechschwarze Schatten von den bedeutend helleren Knochen ab (Darstellung III), so hat die Röhre einen Härtegrad, der sie sowohl für radioskopische wie für radiographische Untersuchungen gleich geeignet macht. Bei noch größerer Härte geht

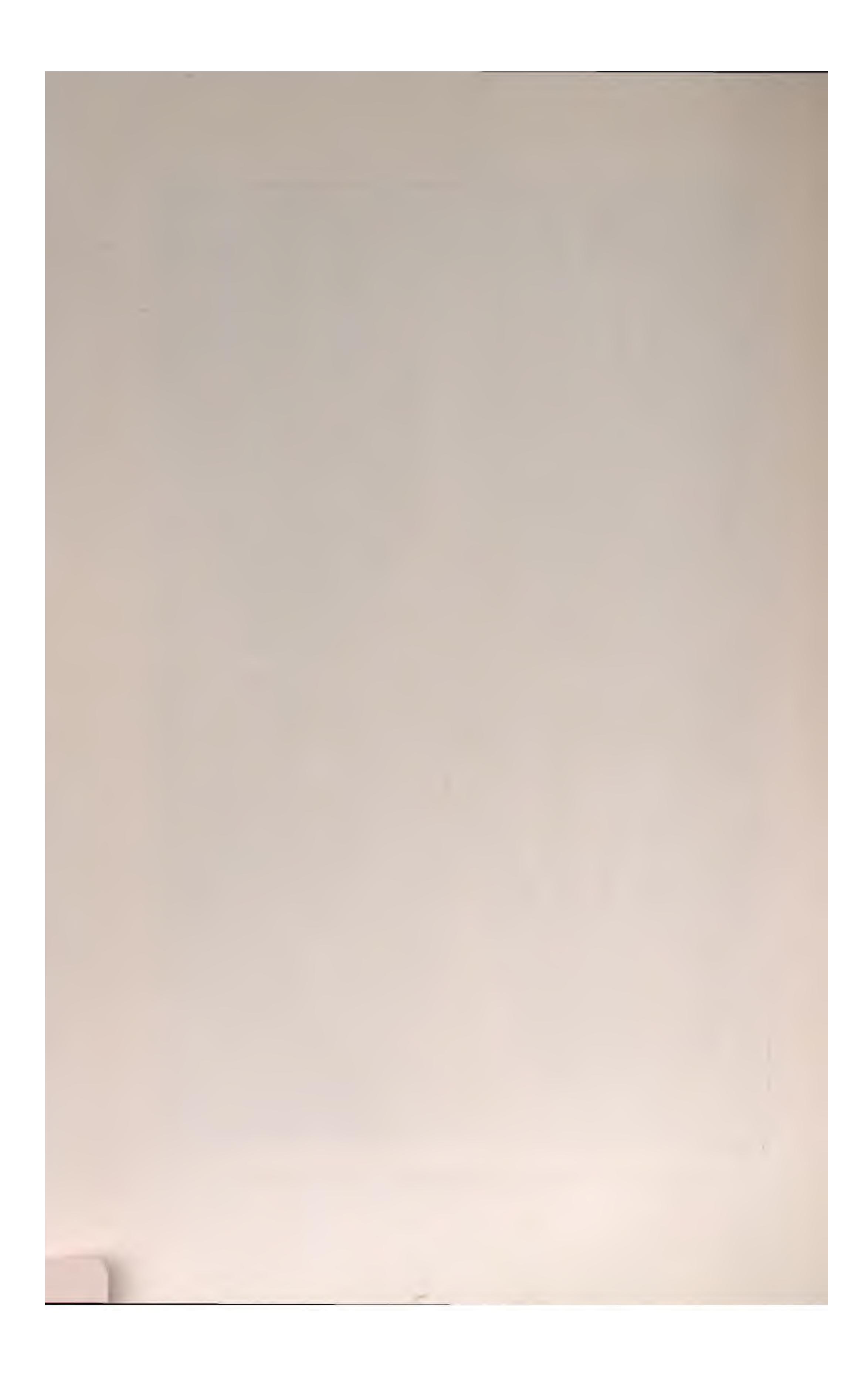
[1]) Vgl. auch W. Graves, The Americ. X-ray-Journ. 4 S. 241, 1898. [illegible]r, Elektrotechn. Zeitschrift 18 S. 81—82, 1897.

Tafel I.



Verlag von Reuther & Reichard in Berlin.

Verschiedene Durchdringungskraft der Röntgenstrahlen.



die Differenzierung in dem Maße zurück, wie die Durchdringungskraft zunimmt. Fleisch und Knochen werden fast völlig und beinahe gleich gut durchstrahlt, nur das Metall hebt sich noch deutlich ab, doch sind auch hier in den Schattenpartien bereits Spuren der Durchdringung erkennbar (Darstellung IV). Für sehr starke Körperteile und für direkte Betrachtung am Leuchtschirm sind derartig harte Röhren bisweilen erforderlich.

Ein sehr gutes Mittel zur Beurteilung einer Röhre wird auch durch eine zu ihr parallele Funkenstrecke gegeben, wie man sie am Induktor (Spitze und Platte) ohne weitere Vorbereitungen zur Verfügung hat. Je härter eine Röhre ist, desto größeren Widerstand bietet sie der Entladung und desto mehr ist letztere geneigt, zwischen Spitze und Platte überzugehen. Man tut daher gut daran, die Funkenstrecke zunächst klein zu wählen und dann so weit zu vergrößern, bis die Entladungen über die Röhre gehen. Die Strecke zwischen Spitze und Platte bildet dann ein gewisses Erfahrungsmaß für den Härtegrad.[1])

Aus dem Gesagten geht deutlich hervor, daß der erfahrene Operateur nicht für jeden Zweck ein und dieselbe Röhre verwenden wird. So wird er zur Bestimmung von Knochenstrukturen nicht eine Röhre mit dem Härtegrad IV, sondern mit dem Härtegrad II oder III (siehe Tafel), zum Aufsuchen eines metallischen Fremdkörpers in dicken Fleischteilen nicht den Härtegrad II, sondern IV wählen. Bestimmte Regeln lassen sich natürlich hier ebensowenig geben wie bei vielen anderen Manipulationen der Röntgentechnik. Sie stehen nur auf dem Papier. Nach einiger Übung wird der Anfänger bald das Richtige herausfinden. Besitzt er eine Röhre mit regulierbarem Vakuum, so wird die Arbeit bedeutend erleichtert.

Röhrentypen.

In der ersten Zeit der jungen Röntgentechnik konnte man die verschiedenartigsten Röhrentypen im Gebrauch sehen, walzenförmige, kugelförmige, birnenförmige. Heute herrscht die Kugelform, welche bei kleinster Oberfläche den größten Inhalt bietet, durchaus vor. Kathode und Antikathode werden in eine Achse gebracht, die Anode wird dicht neben der Antikathode — so weit als möglich von der Kathode entfernt — angeordnet, und die Kugel macht man mög-

[1]) Physikalisch erklärt sich die größere Durchdringungskraft der Röntgenstrahlen durch den Geschwindigkeitszuwachs, welchen die Kathodenstrahlen bei höheren Entladungsspannungen erhalten.

lichst groß, um bei genügendem Luftvorrat eine hinreichende Konstanz der Röhre zu erzielen (Fig. 70).

Abweichend gestaltet ist aus besonderen Gründen eine eigenartige Röhre von Müller-Uri in Braunschweig (Fig. 72). Sie ist vornehmlich dazu bestimmt, engbegrenzte Gebiete intensiv zu bestrahlen oder die Strahlenquelle in Hohlräume, beispielsweise die Mundhöhle, einzuführen. Die Antikathode befindet sich daher (linker Hand) in dem kugelförmig aufgetriebenen Ende der konisch verjüngten, walzenförmigen Röhre und kann dem Objekt mithin bis auf wenige Centimeter genähert werden. Bei der Dünne der Glaswandung ist die Absorption gering. Die Röhre darf nur für schwache Entladungen benutzt, keinesfalls aber mit dem Wehnelt-Unterbrecher betrieben werden. Um ihre spezifischen Vorteile gut ausnutzen zu können, hat Müller-Uri ein besonderes Stativ gebaut, das in Fig. 73 abgebildet ist.



Fig. 72. Röhre zur intensiven Bestrahlung eines eng begrenzten Gebietes.

Die Anwendung des Turbinen-Unterbrechers und des elektrolytischen Unterbrechers, von denen besonders letzterer bei außerordentlich hoher Frequenz dem Induktor bedeutende Energiemengen zuführt, macht Röhren kräftigster Konstruktion von besonderer Widerstandsfähigkeit nötig. Namentlich muß die Platinantikathode vor der Zerstörung durch Verbrennen geschützt und auch die Kathode möglichst massiv gestaltet werden, um den Stromangriffen zu trotzen. Gundelach in Gehlsberg (Thüringen), dessen Patentrohr sich in der Röntgenpraxis allgemeiner Beliebtheit erfreut (Fig. 74), hinterlegt das Platinblech



Fig. 73. Stativ für die in Fig. 72 dargestellte Röhre.

mit einem dicken Kupferblock und sorgt durch eine an diesem befestigte, geschlitzte Kupferröhre für eine gute Wärmeableitung.

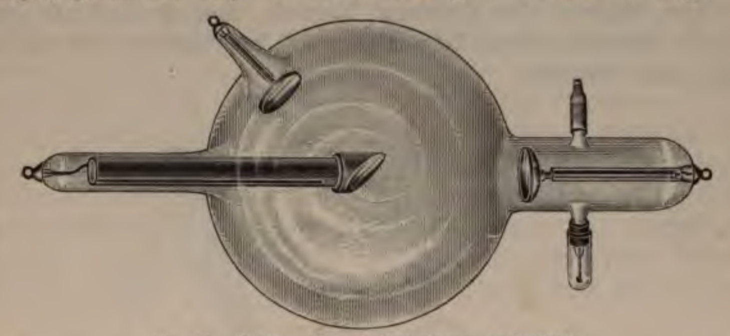


Fig. 74. Röntgenrohr mit hinterlegter Antikathode.

Weniger leicht im Betriebe zu handhaben sind die Röhren mit Wasserkühlung. Bei ihnen ist die Hohl-Antikathode an einem geräumigen, in das Innere der Röntgenröhre führenden Glasrohre befestigt. Die Wasserzirkulation wird folgendermaßen bewerkstelligt. An den beiden Einflußöffnungen der Antikathode (Fig. 75) befestigt man Gummischläuche, von denen der eine zu einem höher stehenden, der andere zu einem tieferstehenden Behälter führt. Durch eine Schlauchklemme kann die Stärke des Wasserstromes leicht reguliert werden. Beide Gefäße sind sorgfältig von der Erde zu isolieren, da die Wasserfüllung der Schläuche den Strom leitet. Man hat allerdings versucht, Öl statt des Wassers anzuwenden, aber mit mäßigem Erfolge, da das Öl die Schlauchwandungen oft angreift. Deshalb ist es in den meisten Fällen — immer bei kurzer Benutzung — besser, auf eine Spülung ganz zu verzichten und die Antikathode mit einmaliger Füllung zu versehen. Geeignete Röhren

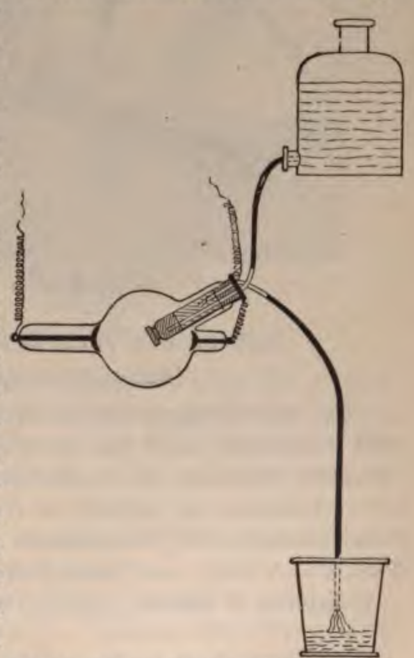


Fig. 75. Röntgenröhre mit Wasserkühlung.

mit geräumigem Wasserreservoir (Fig. 76) bringt z. B. Ernecke-Berlin in den Handel.[1])

Der Röhren mit doppelter Kathode und Antikathode zum Zwecke stereoskopischer Betrachtung soll im Abschnitt VII Erwähnung getan werden.



Fig. 76. Röntgenröhre mit Wasserreservoir.

Röhren mit veränderlichem Härtegrade (regulierbarem Vakuum).

Da eine Röntgenröhre nicht nur im Laufe der Zeit, sondern unter Umständen auch bei ein und derselben Durchstrahlung ihren Charakter verändert, so ist die Nachfrage nach Röhren mit regulierbarem Vakuum von Anfang an eine große gewesen. An allerhand Konstruktionen und Vorschlägen fehlt es daher denn auch nicht, doch sind wenige von ihnen praktisch brauchbar.[2])

Siemens & Halske, Berlin, benutzten z. B. zum Härten der

---

[1]) Zuerst wurde die Wasserkühlung von Kirmayer &Ölling in Boston versucht.

[2]) Siemens & Halske, im „Mechaniker" **5** S. 37, 1897. — B. Walter, Elektrotechn. Zeitschrift **18** S. 10, 1897. — E. Guillaume, La Nature **26**, 2 Sem. S. 161, 1898.

Röhren die bekannte Eigenschaft des erhitzten Phosphors, mit Begierde den Sauerstoff der Luft an sich zu reißen.

Die Ausführung der heute nur noch selten benutzten Röhren ist folgende: Ein größeres cylinderförmiges Rohr trägt seitlich ein Glasrohr, das eine, mit einem Ansatzröhrchen versehene Kugel hat. Der an seinem Ende verschlossene Ansatz enthält Phosphor.

Der positive Pol des Induktors wird mit dem Platinblech, der negative mit der Hohlkathode verbunden. Eine besondere Antikathode ist nicht vorhanden. Wird die Röhre zu weich, so hakt man den Anodendraht in die Öse der Elektrode, welche dem Phosphorröhrchen gegenüber angebracht ist, und läßt den Strom einige Sekunden hindurchgehen. Der Phosphor beginnt dann die Luft zu

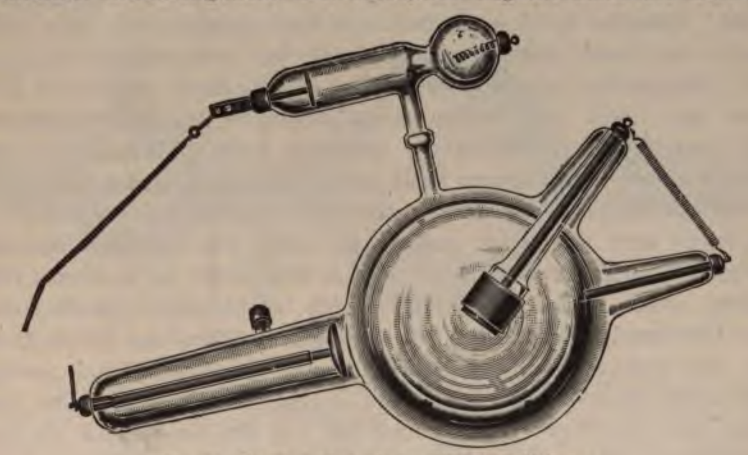


Fig. 77. Röntgenröhre mit regulierbarem Vakuum.

absorbieren, und das Vakuum wird verbessert. Von Zeit zu Zeit überzeugt man sich durch Wiederanschalten der Anode und durch den Gebrauch des Fluorescenzschirmes von dem Fortschritt der Härtung. Man geht mit letzterer nicht zu weit, da die Röhre meist noch nachhärtet.

Weicher wird die Röhre durch vorsichtiges Erwärmen der kleinen Glaskugel an einer nicht zu großen Stelle.

In gewisser Beziehung ist das Erbe der Siemens & Halskeschen Konstruktion durch eine von Kohl in Chemnitz geführte und in Fig. 77 abgebildete Röhre angetreten worden. Auch hier handelt es sich um Emission bezw. Absorption von Gas durch geeignete Substanzen mit Hilfe der Entladungswärme. Das seitlich an die Röntgenröhre angeschmolzene kleinere Rohr enthält zwei Elektroden,

von denen die plattenförmige durch einen Scharnierdraht zeitweilig mit der Kathode der Hauptröhre in Verbindung gesetzt werden kann. Die andere spiralförmige Elektrode wird für gewöhnlich nicht benutzt. Der Vorgang bei der Regulierung ist folgender: Wenn der Scharnierdraht der Hauptkathode — wie in der Abbildung — auf einige Centimeter genähert wird und die Röhre weich ist, so geht die Entladung durch die Hauptröhre. Wächst mit zunehmender Härte die Spannungsdifferenz, so beginnt sich die Entladung einen neuen Weg über die Hilfskathode in der kleinen Röhre zu suchen, indem sie nach dem Scharnierdraht hinüberschlägt. Hierdurch wird aus der Hilfskathode Gas frei gemacht und das Vakuum herabgesetzt, worauf die Entladung wieder allein durch die Hauptröhre geht. Dasselbe Spiel wiederholt sich nach einiger Zeit. Man sieht wohl, wie durch diese Einrichtung eine fast vollkommene Konstanz des Härtegrades während der ganzen Betriebsdauer erreicht ist und wie man durch verschieden weites Abbiegen des Scharnierdrahtes die verschiedensten Härtegrade einstellen kann. Verfasser hat die Röhre selbst nicht benutzt und kann daher aus eigener Erfahrung nicht sprechen. Nach den Angaben der Fabrik soll die Regulierfähigkeit aber eine sehr weitgehende sein. Für Beckenaufnahmen wird die Funkenstrecke auf etwa 6 cm eingestellt, bei leichteren Objekten sollen 1 bis 3 cm genügen. Eine beschleunigte Herabsetzung des Härtegrades läßt sich durch alleinigen Anschluß der Hilfskathode an den Induktor erreichen, doch darf der Stromschluß nur wenige Sekunden dauern. Soll die Röhre dagegen härter werden, so hakt man den positiven Zuführungsdraht von der Hauptanode ab und legt ihn an die spiralige Hilfsanode der Nebenröhre. Das von dieser abstäubende Platin absorbiert einen Teil der freien Luftteilchen und setzt sich als dunkler Belag an der Röhrenwandung fest. Hierdurch wird die Röhre härter.

Die Gesellschaft Voltohm-Frankfurt a. M. geht von der Voraussetzung aus, daß jede Röhre im Laufe der Zeit ohnehin spröde wird und einer besonderen Einrichtung zum Härten daher nicht bedarf.

Zwei gleich große Glaskugeln (Fig. 78) sind durch einen kurzen Stutzen miteinander verbunden. Kathode und Antikathode befinden sich in der einen Kugel, während die andere nur die Anode enthält. Die Konstanz der Röhre hängt mit dem Verfahren zusammen, welches beim Auspumpen beobachtet wird. Während desselben wird nämlich nur die rechte Kugel erhitzt und die Luft von den Wänden derselben so gründlich abgetrieben, daß die spätere Erwärmung durch

den Betriebsstrom, welche nur in der rechten Röhrenhälfte stattfindet, eine wesentliche Verschlechterung des Vakuums nicht mehr herbeiführen kann. Dagegen hat die linke Kugel eine relativ bedeutende Luftmenge an ihren Wänden zurückbehalten und dient als Vorratskammer, nach welcher bei längerer Benutzung die durch den Stromdurchgang in der anderen Kugel erzeugte Wärme mittels Leitung allmählich herüberdringt und soviel Luft loslöst, als zur Vernichtung der äußersten Härte notwendig ist. So wenigstens versteht Verfasser die Wirksamkeit der Röhre, die Fabrik bezeichnet dieselbe, ohne auf eine nähere Erklärung einzugehen, als vom Stromdurchgang selbst reguliert und einer besonderen Erwärmung nicht bedürfend.

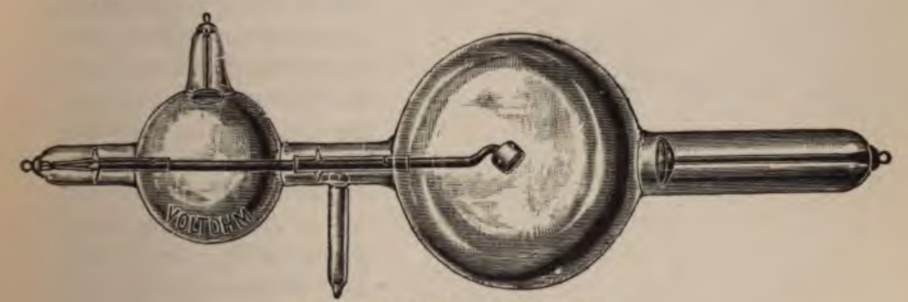


Fig. 78. Regulierbare Röntgenröhre.

Sollte der Fall eintreten, daß die Röhre zu weich wird, so muß jedenfalls ein kurzes Umkehren der Stromrichtung, wie auf Seite 106 unter II angegeben, zur Herstellung eines guten Vakuums genügen.

Neuerdings wird dieselbe Röhrentype noch mit einer Reguliervorrichtung versehen, die der oben beschriebenen Kohlschen sehr ähnlich ist.

Eine andere Art der Regenerierung beruht auf der Eigenschaft des Palladiums, in rotglühendem Zustand für Wasserstoff durchlässig zu sein. Man schmilzt daher ein außenseits geschlossenes Palladiumröhrchen in den Kathodenhals ein und erwärmt im Bedarfsfalle das Ende des Röhrchens mit einer Spiritusflamme bis zur Rotglut, worauf der in der Flamme vorhandene Wasserstoff in das Innere der Röntgenröhre diffundiert und das Vakuum herabsetzt. Bei verständiger Benutzung kann diese relativ einfache Vorrichtung gute Dienste leisten. Man hat darauf zu achten, daß das Röhrenende wirklich gut in den Kern der Spiritusflamme kommt, daß e klein ist und der Röhre nicht zu nahe tritt, daß die Röhre der Regenerierung erst völlig erkaltet, bevor sie wieder in Ge-

brauch genommen wird u. s. f. Am besten tut man daran, die Erwärmung mehrere Male nacheinander ganz kurze Zeit vorzunehmen und zwischendurch den Erfolg am Leuchtschirm zu kontrollieren. An der Gundelachschen Röhre (Fig. 74) ist die Palladium-Vorrichtung dargestellt. Sie ist kenntlich an der kleinen Schutzröhre aus Glas, die nur während der Regenerierung selbst entfernt werden sollte.

Eine höchst originelle, auf ganz anderem Prinzip beruhende und anscheinend sehr wirksame Reguliervorrichtung ist in neuester Zeit von Dr. A. Wehnelt-Erlangen angegeben worden. Gelegentlich seiner Arbeiten über den dunklen Kathodenraum (vergl. auch Seite 100) hatte Wehnelt die Wahrnehmung gemacht, daß das Kathodenstrahlenbündel von der Röhrenwandung beeinflußt und um so mehr zusammengeschnürt wird, je mehr sich die Röhrenwandung der Kathode nähert.[1]) Derselbe Effekt tritt auf, wenn die Röhre weiter ausgepumpt und härter wird. Es lag daher nahe »zu untersuchen, ob durch Änderung des Rohrdurchmessers um die Kathode bei konstantem Druck eine starke Geschwindigkeitsänderung der Kathodenstrahlen und, damit zusammenhängend, eine Variation der Durchdringungskraft der Röntgenstrahlen zu erzielen sei«.

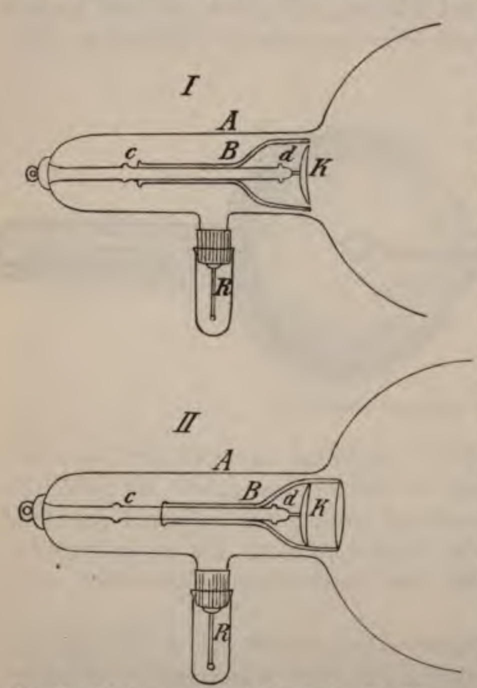


Fig. 79. Röntgenrohr mit Wehneltscher Vorrichtung zur Veränderung des Härtegrades.

Wehnelt hat das anscheinend technisch recht schwierig erscheinende Problem in sehr einfacher Weise gelöst. Fig. 79 zeigt

[1]) A. Wehnelt, Wiedemanns Annalen der Physik und Chemie **65**. S. 511—542, 1898. — Derselbe. Physikal. Zeitschrift **2**. S. 518 bis 527, 1901. — Derselbe. Annalen der Physik (früher Wiedem. Annalen) **10**. S. 542 bis 580, 1903.

seine Vorrichtung. Über die Kathode K läßt sich ein fast cylindrisches Glasrohr A schieben von nur wenig größerem Querschnitt, wie ihn die Kathode selbst hat. Ist das Röhrchen zurückgezogen, was sich durch Neigen der Röntgenröhre und leichtes Klopfen bewerkstelligen läßt, so ist die Kathode unbeengt und sendet Strahlen von geringer Geschwindigkeit aus. Dementsprechend besitzen die Röntgenstrahlen wenig Durchdringungskraft, d. h. die Röhre ist weich. (Darstellung I). Je weiter das verschiebbare Rohr vorrückt, desto mehr wird das Kathodenstrahlenbündel eingeschnürt, desto größer ist seine Geschwindigkeit und desto durchdringender sind die Röntgenstrahlen. Über eine bestimmte Grenze hinaus wirkt die Vorrichtung nicht mehr, dann nämlich, wenn der gesamte dunkle Raum (vergl. Seite 100) bereits eingeschlossen ist. Die Anschläge c und d fixieren die äußersten Stellungen (Darstelllung II). Es ist erstaunlich, wie weit die Regulierfähigkeit geht. Nach den Angaben Wehnelts wächst das Potential der Röhre — geringe Drucke in ihr vorausgesetzt — unter Umständen um das 6fache des Anfangswertes; dementsprechend zeigt sich dieselbe Röhre denn auch für die verschiedensten Aufnahmeobjekte in beliebiger Reihenfolge brauchbar. Schwache Objekte (Hände etwa) verlangen eine freie Kathode, sehr starke (Becken) eine extreme Stellung des Regulierrohres nach vorn. Selbstverständlich wird auch eine mit der Wehneltschen Vorrichtung versehene Röhre im Laufe der Zeit meist härter und erhält daher zweckmäßig noch eine Diffusionsregulierung aus Palladium, die dann zu benutzen ist, wenn auch bei freier Kathode die Röntgenstrahlen härter als wünschenswert sind. Die Wehneltsche Vorrichtung ist der Firma Reiniger, Gebbert & Schall in Erlangen geschützt worden.

Bisweilen wird bei allen Röhrengattungen das Auftreten von Wechselstromentladungen recht lästig. Man erkennt letztere an dem eigentümlich flackernden Lichte der Röhre, das markante Fluorescenzflecke und Ringe am Glase hervorruft. Es gehen dann beide Stromrichtungen durch die Röhre. Der Effekt ist eine geschwächte Leuchtkraft, sowie ein schnelles Hartwerden der Röhre. Sollte es sich nur um eine momentane Inanspruchnahme handeln (wenige Sekunden), so kann man sich verhältnismäßig leicht helfen, indem man eine feuchte Schnur vor die Röhre in die Leitung schaltet. Da die für die Röhre falsche Stromrichtung eine geringere Spannung besitzt als die andere,[1]) so wird sie nämlich zum großen Teil durch d

[1]) [illegible]l. Seite 50.

hohen Widerstand der Schnur aufgehalten. Bei längerer Benutzung wird die Schnur heiß und verbrennt. Man hat daher andere Halbleiter für denselben Zweck vorgeschlagen. Von ihnen leistet Schiefer noch die besten Dienste, er verlegt der falschen Stromrichtung den Weg fast völlig. Kohl in Chemnitz konstruiert Schieferleisten von etwa 50 cm Länge und 1 cm Durchmesser, auf denen ein Schleifkontakt zum besseren Abgleich des Widerstandes verschiebbar angeordnet ist. Man gibt solange Widerstand hinzu, bis die charakteristische Wechselstromentladung in der Röhre einem ruhigen, die vordere Kugelhälfte homogen erfüllenden Lichte Platz gemacht hat.

Als sehr zweckmäßig haben sich ferner die sogenannten Ventilröhren erwiesen, von denen ein sehr gangbares Muster in Fig. 80 abgebildet ist. Ihre Wirkung beruht auf folgender physikalischen Tatsache: Sind die Elektroden in einem evakuierten Entladungsrohr verschiedenartig gestaltet oder befinden sie sich unter verschiedenen örtlichen Verhältnissen — ist z. B. die eine von der Glaswand eng umschlossen, die andere nicht (siehe Figur) — so vermag der Strom vorzugsweise nur in einer Richtung durch die Röhre zu fließen.[1]) Vor die Röntgenröhre geschaltet, wirkt letztere also wie ein Ventil. Zweierlei ist jedoch beim Betriebe wohl zu beachten: einmal, daß die Ventilröhre weit genug von der Röntgenröhre entfernt ist — sie beeinflußt nämlich ihre Entladungen — und dann, daß sie stets in richtigem Sinne im Stromkreis liegt. Man verbindet immer die nicht in die Kugel ragenden Elektroden miteinander, wie es auch aus der Fig. 81 deutlich hervorgeht.


Fig. 80. Ventilröhre.

Obgleich die Elektrodenflächen der Ventilröhren groß und für hohe Stromstärken berechnet sind, teilen letztere doch das Schicksal aller Röntgenröhren: sie werden mit der Zeit hart, absorbieren immer mehr Energie und unterbrechen schließlich die Entladung ganz. Eine Palladium-Regeneriervorrichtung, wie sie Gundelach (Gelsberg) bei seinen Ventilröhren anbringt, ist daher sehr empfehlenswert (vergl. Fig. 74).

[1]) Wer sich für die Erklärung des Phänomens interessiert, findet Näheres:

Hittorf, Poggendorfs Annalen **136**, S. 198 1869. — Homén, Wiedemanns Annalen **38**, S. 172 1889. — Villard, Comptes rendus **128**, S. 994 1899. — Stark, Physikal. Zeitschrift **3**, S. 167 1902. — derselbe, „Die Elektrizität in Gasen" (Johann Ambr. Barth, Leipzig) S. 196 1902.

Wir stellen die Hauptpunkte dieses Abschnittes noch einmal kurz zusammen:

1. Fallen Strahlen, welche an der Kathode in einem hochgradig

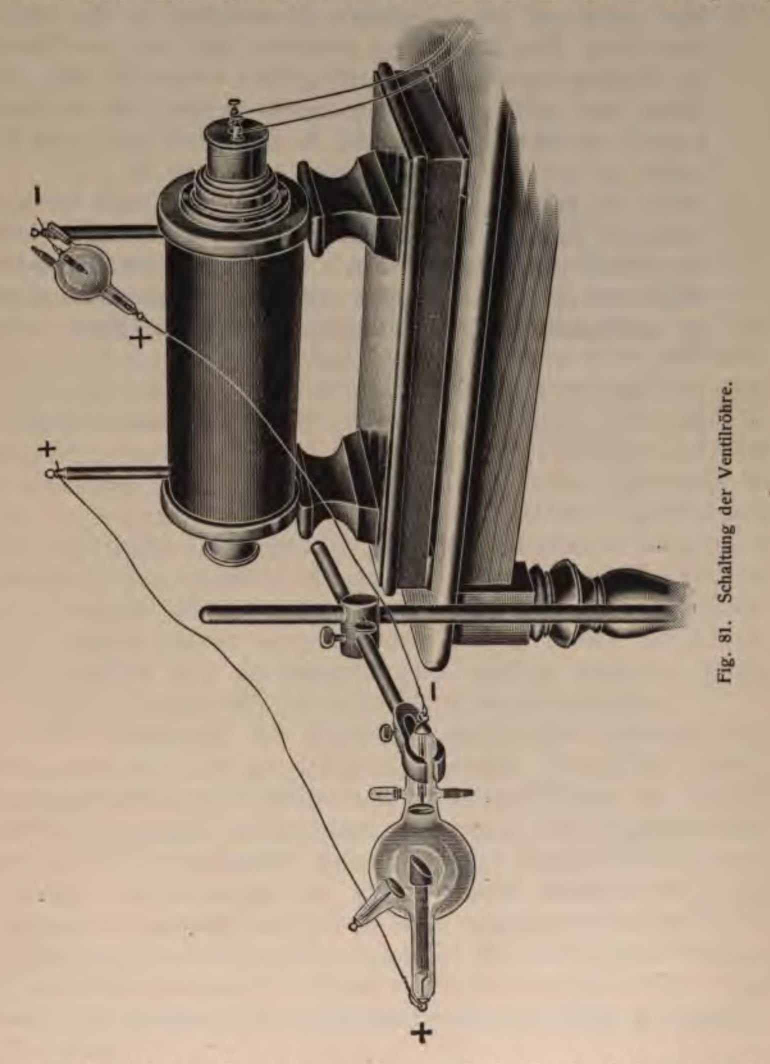


Fig. 81. Schaltung der Ventilröhre.

luftverdünnten Raume entstehen, auf ein Platinstück, so sendet letzteres Röntgenstrahlen aus (Seite 100).
2. Der Charakter der Röntgenstrahlen (ihre Durchstrahlungskraft) hängt in erster Linie von dem Grade der Luftverdünnung in

der Röhre ab (Seite 104). Der Härtegrad der Röhre nimmt zwar im Laufe der Zeit zu, ist aber in gewissen Grenzen regulierbar (Seite 105).

3. Man achte auf einen richtigen Stromverlauf in der Röhre (Seite 104). Eine Umkehrung desselben darf nur zum Zweck der Härtung ausnahmsweise herbeigeführt werden (S. 106). Die Röhre darf nicht so weit beansprucht werden, daß die Antikathode in stärkere Glut gerät, da andernfalls nach dem Erkalten ein schnelles Hartwerden zu befürchten ist.
4. Wird die Röhre plötzlich weich und versagt nach wenigen Sekunden ganz, so ist anzunehmen, daß ein abirrender Funke die Röhre durchschlagen hat. Dieser Fall tritt besonders leicht bei zu spröden Röhren ein. Ein vorbeugendes Mittel ist eine parallel geschaltete Funkenstrecke (Seite 126).

VI. Abschnitt.

Zusammenschaltung der Apparate.

Der Fachmann wird zu einer leistungsfähigen Röntgenstrahleneinrichtung außer der Stromquelle, einem Induktor, einer Röhre und etwas Leitungsmaterial nicht viel bedürfen, denn alle anderen Apparate können bei einigem Verständnis und ausreichender Geschicklichkeit improvisiert werden. Dem Laien aber, der auf Bequemlichkeit, stete Bereitschaft und stabile Gediegenheit seiner Anlage etwas gibt, ist dringend zu raten, von solchen Versuchen fern zu bleiben und nicht an unrichtiger Stelle einige Mehrkosten zu scheuen. Andrerseits ist nicht zu leugnen, daß die sogenannten kompletten Einrichtungen recht viel Überflüssiges enthalten und daß namentlich in der äußeren Ausstattung nebensächlicher Dinge, wie Tische, Schränke, Gestelle u. s. w. ein oft nicht einmal geschmackvoller Aufwand von dekorativem Beiwerk beliebt wird, der dem ernsten Zweck der Anlage nicht entspricht und sie jedenfalls ganz unnötig verteuert. Möge man daher in dieser Hinsicht alles Überflüssige vermeiden.

Zur Verbindung der Apparate untereinander verwende man Drähte von nicht zu geringem Querschnitt. Denn jede Leitung bietet dem Strome einen Widerstand (gemessen in Ohm; vgl. Seite 7), welcher proportional ist der Länge der Leitung und umgekehrt proportional ihrem Querschnitt; außerdem hängt derselbe von dem spezifischen Leitungsvermögen ab. Da die Längen der Leiter für unsere Schaltungen durchweg sehr gering sind, interessiert vornehmlich der erforderliche Querschnitt. Man wird für alle Zwecke mit weichen Kupferdrähten von etwa 2 bis 3 mm Durchmesser ausreichen. Eine Umhüllung derselben mit gewachster Baumwolle genügt zur Isolation vollkommen.

Anders bei den Drähten zwischen Induktor und Röhre. Wegen der hohen Spannung und entsprechend sehr geringen Stromstärke, welche sie führen, kann der Querschnitt klein gewählt werden, man [illegible] darauf, daß ihre Isolation eine vorzügliche sei und mache

zur Verhütung einer Ausstrahlung der hochgespannten Elektrizität die Verbindungen zwischen Induktor und Röhre so kurz als möglich. Mit Vorteil führt man die Drähte durch dünne Gummischläuche oder wählt die neuerdings in den Handel gebrachten biegsamen Hochspannungskabel.

In folgendem sollen eine Reihe von Schaltungseinrichtungen, von den einfachsten bis zu den vollkommensten, besprochen und die erforderlichen Nebenapparate im Zusammenhange erläutert werden. Die Bekanntschaft mit der Schaltungsweise der Unterbrecher gegen den Induktor und mit der Behandlung der Stromquellen muß hierbei vorausgesetzt werden. (Abschnitt II und IV.)

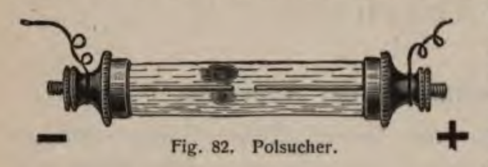


Fig. 82. Polsucher.

Zur Bestimmung der Pole ist ein kleiner Apparat sehr bequem, der aus einem kurzen mit Phenolphtaleïn angefüllten Glasrohr besteht, in das von beiden Seiten, jedoch ohne daß in der Mitte eine Berührung stattfände, zwei Platindrähte hineinragen (Fig. 82). Werden die beiden Klemmen des Instruments mit den, ihrer Benennung nach noch unbekannten Polen der Stromquelle verbunden, so färbt sich die Flüssigkeit an dem negativen Pole rosarot. Da sich die Färbung durch Schütteln wiederum verliert, ist der Polsucher stets gebrauchsfertig.

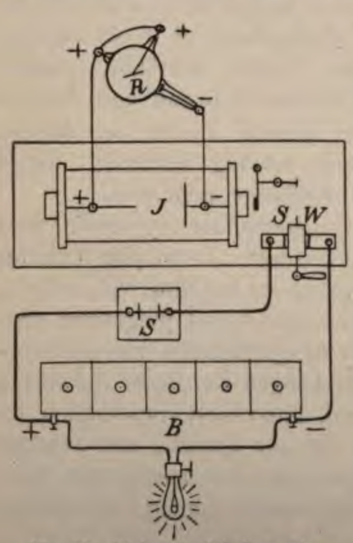


Fig. 83. Einfachste Schaltung einer Röntgeneinrichtung.

Mit seiner Hilfe werden die Pole der Stromquelle festgestellt und deutlich bezeichnet.

I. Fig. 83 zeigt schematisch die Anordnung einer möglichst einfachen Einrichtung. Der Stromwender eines kleinen Induktors ist mit den Klemmen einer Akkumulatorenbatterie von 5 Zellen verbunden. Eine Reguliervorrichtung für den Strom ist nicht vorhanden; an ihre Stelle tritt eine Sicherung *S*, welche sowohl die Stromquelle als das Induktorium vor Überlastung schützt. Die Sicherung besteht aus einem Bleidraht, dessen Dimensionen so gewählt sind, daß er

bei einer den maximal zulässigen Betrag übersteigenden Stromstärke durchschmilzt und den Strom unterbricht. Man verwendet mit Vorteil eine auf Porzellan montierte Sicherungsfassung, in welche nach Art einer Glühlampe ein Stöpsel gedreht wird, der den abgeglichenen Bleidraht enthält. Beides ist in jedem Geschäft, das Licht-Installationen ausführt, erhältlich. Die Angabe der maximalen Entladestromstärke der Akkumulatoren ist beim Kauf erforderlich. Ernecke-Berlin konstruiert eine Sicherung, bei welcher der Bleidraht durch ein auswechselbares Stanniolstreifchen ersetzt ist.

Zur ungefähren Beurteilung der Batteriespannung (siehe auch Seite 25) wird eine Glühlampe benutzt für eine Spannung, welche der-

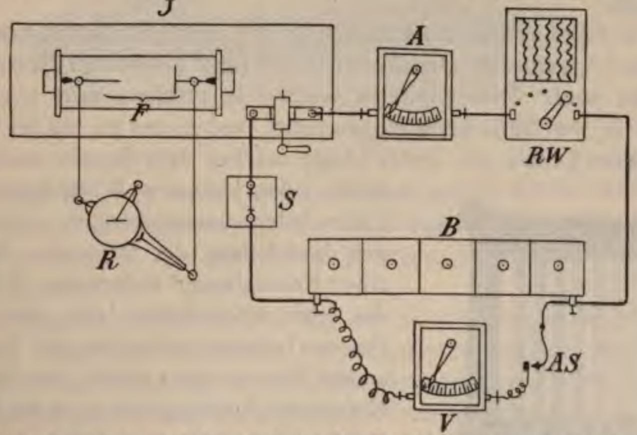


Fig. 84. Einfache Schaltung mit Batterie, Regulier- und Meßinstrumenten.

jenigen der Batterie in geladenem Zustande entspricht. Bei *n* Zellen beträgt diese Spannung $2 \cdot n$ Volt. Die Lampe mit Ausschalter wird mit Vorteil so angebracht, daß sie zeitweise auch zur Beleuchtung dienen kann. Man beschränke indes die Inanspruchnahme der Batterie zu Beleuchtungszwecken auf ein Mindestmaß. Ist die Batterie frisch geladen, so wird man bemerken, daß die Leuchtkraft beim Einschalten des Induktorstromes nicht allzu beträchtlich sinkt; ein starkes Nachlassen zeigt an, daß die Entladung ihrem Ende entgegen geht. Man kann jedoch solange Strom entnehmen, bis die Lampe ohne anderweitige Stromentnahme deutlich mit nicht mehr normaler Kraft brennt.

Durch Umlegen des Stromwenders wird die günstigere Stellung desselben erprobt (Seite 49) und darauf Spitze und Platte auf maxi- Funkenlänge auseinander gezogen. Anode und Antikathode

der Röhre werden mit der Spitze, die Kathode mit der Platte des Induktors verbunden. Wächst der Widerstand der Röhre plötzlich, so bahnt sich die Entladung nicht um die Röhre, sondern über Spitze und Platte einen Weg und vermag so weder an der Röhre noch in der Sekundärspule Schaden anzurichten.

(Über die Behandlung der Platin-Unterbrecher siehe das Nähere im Abschnitt IV.)

II. Eine etwas vollkommenere Anlage als die vorbesprochene zeigt die beistehende Skizze (Fig. 84). Dem primären Stromkreislaufe sind außer einer Sicherung auch noch eine Reguliervorrichtung und Instrumente zum Messen der Stromstärke und der Spannung eingefügt.

Der Regulierwiderstand besteht in der meist gebräuchlichen Form aus einer Anzahl von Drahtspiralen, die straff über einen Holzrahmen gespannt sind. Diese Spiralen werden in größerer oder geringerer Anzahl in den Stromkreis eingeschaltet und bieten so, da der Widerstand eines Leiters mit seiner Länge wächst, dem Strome einen größeren oder kleineren Widerstand. Das Ende jeder vorangehenden Spirale ist mit dem Anfang der folgenden durch je einen Kontaktknopf verbunden. Während das letzte Kontaktstück mit dem einen Pol der Leitung verbunden ist, liegt der andere Pol an einem Hebel, der über die Knöpfe hingleitet und um so mehr Widerstandswickelungen ausschaltet, je weiter er dem mit der Leitung verbundenen Kontaktknopf genähert wird. Steht die Kurbel auf dem letzten Kontakt, so ist sämtlicher Widerstand ausgeschaltet und der Strom kommt auf den Induktor zur vollen Wirkung. Diese Stellung wird auf dem Rahmen deutlich bezeichnet.



Fig. 85. Regulierwiderstand.

Man beginnt beim Betriebe stets mit einigem Widerstande zu arbeiten und schaltet denselben erst dann allmählich aus, wenn man sich vom ordnungsgemäßen Funktionieren aller anderen Instrumente überzeugt hat. Die Ruhestellung des Regulier-Widerstandshebels ist also die der bezeichneten entgegengesetzte.

Siemens & Halske-Berlin umhüllen die Widerstandspulen zum Schutze gegen äußere Verletzungen mit einem Blechgehäuse, welches

zur Kühlung der von dem Stromdurchgang erhitzten Drahtwindungen perforiert ist. Fig. 85 zeigt einen offenen Regulierwiderstand von Ernecke-Berlin.

Dieselbe Firma konstruiert einen recht kompendiösen Schieberwiderstand (Fig. 86). Er besteht aus einer isolierenden Walze, auf welcher der Widerstandsdraht aufgewickelt ist. Das Ende der Spule

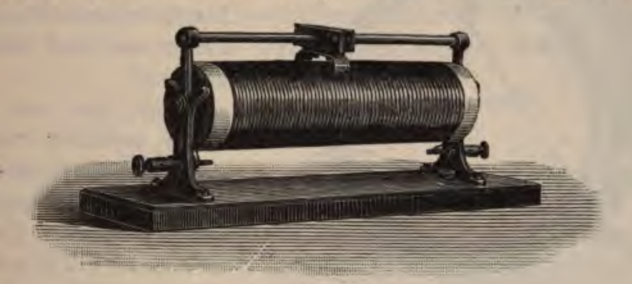


Fig. 86. Schieberwiderstand.

und ein auf derselben verschiebbarer Kontakt stehen mit den Klemmen des Apparates in Verbindung. Der Schiebekontakt schaltet um so mehr Widerstand in den Stromkreis, je weiter er von dem Pole der Spirale entfernt ist.

Ein Instrument (*A* Fig. 84), das die Stromstärke zu messen gestattet, ist zwar nicht unbedingt notwendig, aber es mag empfohlen sein, da es zur Erhaltung der übrigen Apparate wesentlich beiträgt und überdies eine einmal als vorteilhaft erkannte Stromstärke in jedem Falle genau wieder herzustellen gestattet. Zur Feststellung der Expositionszeiten, welche durch Vergleich mit einer Belichtungsdauer bei bekanntem Objekt, bekannter Röhrenentfernung und Stromstärke gefunden werden, ist das Instrument ganz besonders wertvoll.

Das Prinzip der Stromstärkemesser (Ampèremeter) ist ein sehr einfaches und beruht in den weitaus meisten Fällen auf der Erscheinung, daß ein an einer Spiralfeder hängender Eisenkern um so weiter in eine Drahtspule hineingezogen wird, je stärker der in ihr fließende Strom ist. Die Bewegung des Kerns wird in einfacher Weise auf einen Zeiger übertragen, der über einer Skala spielt. Diese ist durch Vergleich mit einem Strommessungs-Instrument anderer Art geeicht und in Ampère eingeteilt. Irgend ein Gehäuse schützt den Mechanismus vor Verletzung (Abbildung Fig. 87 nach Ernecke-Berlin). Das Instrument *A*. bildet einen Teil des Stromkreises (Fig. 84) und bleibt dauernd eingeschaltet. Seine Wickelung ist daher so bemessen, daß esentlichen Widerstand die maximale Stromstärke hindurch-

läßt. Für kleinere und mittlere Induktoren (bis 30 cm Schlagweite) genügen Strommesser mit einem Meßbereich bis zu 6 bezgl. 8 Amp., für größere (50 cm Schlagweite und darüber) solche bis zu 15 Amp.

Vor der Benutzung wird das Ampèremeter durch Drehen an den Fußschrauben so eingestellt, daß der Zeiger auf den Nullstrich einspielt.



Fig. 87. Ampèremeter.

Besser als eine Glühlampe verschafft ein Voltmeter ein Urteil über die jeweilige Klemmenspannung der Stromquelle. Es ähnelt in äußerer Form und innerer Einrichtung durchaus dem Ampèremeter, nur daß die Spule mit weit dünnerem Draht in vielen Lagen bewickelt ist. Es geschieht dies, um einen größeren Stromverbrauch zu verhüten, der das Sinken der Spannung an den zu prüfenden Punkten der Leitung zur Folge haben würde. Während das Ampèremeter in den Verbrauchsstromkreis geschaltet wird, liegt das Voltmeter stets parallel (im Nebenschluß) zu demselben und zeigt auf der in Volt geteilten Skala die Spannung an den Abzweigstellen an. Für unsere Zwecke wird dasselbe mit den Polen der Batterie verbunden (Fig. 84), jedoch unter Zwischenschaltung eines Ausschalters *AS*, der nur während der kurzen Dauer einer Spannungsprüfung geschlossen wird. Auf der Skala merkt man diejenigen Zeigerstellungen an, welche der Batteriespannung bei voller Ladung und bei der unteren

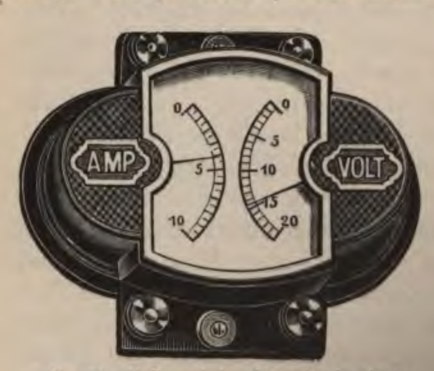


Fig. 88. Volt- und Ampèremeter in einem Gehäuse.

erlaubten Entladungsgrenze entspr[illegible]en (vgl. Seite 23). In recht kompendiöser Weise konstruiert [illegible] neuerdings Volt- und Ampèremeter zusammen (Fig. 88).

III. Größere Anlage mit gesondert betriebenem Unterbrecher. Unter einer größeren Röntgenstrahlen-Einrichtung verstehen wir eine solche, die mit einem Induktor über 30 cm Schlagweite ausgerüstet ist. Instrumente dieser Art, die in der Regel über 7 Amp. Stromstärke zu ihrem Betriebe gebrauchen, werden kaum mit eigenem Stromwender gebaut und bedürfen eines gesonderten Unterbrechers, mit Vorteil eines rotierenden Quecksilber-Unterbrechers, der dann meist auch eine Vorrichtung zum Wenden des Stromes besitzt. Über die

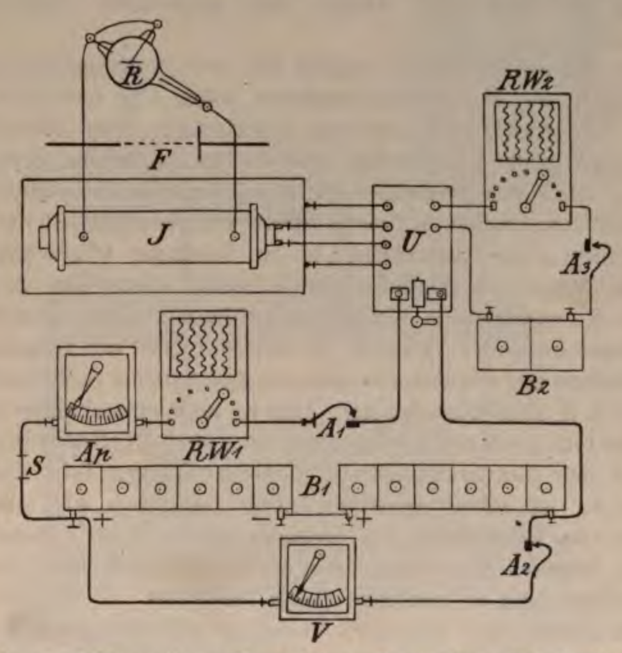


Fig. 89. Schaltung einer größeren Anlage mit gesondertem Unterbrecher.

Schaltung und Einrichtungen der Quecksilber-Unterbrecher, welche sich auch kleineren Induktoren gegenüber bewähren, findet sich alles Nähere im Abschnitt IV.

Vielfach wünscht man die Motoren der rotierenden Unterbrecher von derselben Batterie aus zu speisen, die auch dem Induktor den Strom liefert. Dies kann geschehen, wenn die Wickelung des Motors mit der Spannung der Betriebsbatterie einigermaßen im Einklang steht und ferner die Batterie stark genug ist, um eine Unabhängigkeit beider Stromkreise voneinander zu sichern. Meistens verwendet man aber Unterbrechermotoren, welche für eine geringe Spannung (etwa

4—6 Volt) gewickelt sind, und zieht den Betrieb durch eine gesonderte kleine Batterie vor. Durchaus zu verwerfen ist der Anschluß des Motors nur an so viel Zellen der Hauptbatterie, als der erforderlichen Spannung entspricht. Hierdurch wird ein Teil der Akkumulatorenbatterie früher entladen als der andere und nicht nur die Abgabefähigkeit derselben vor der Zeit verringert, sondern unter Umständen auch eine Überentladung der stärker beanspruchten Zellen oder gar eine sehr schädliche Umpolarisation herbeigeführt.

Fig. 89 stellt eine Anlage mit gesonderter Unterbrecherbatterie dar.

Die Betriebsbatterie B_1, welche aus zwei hintereinander geschalteten Kästen zu je 6 Zellen bestehen möge, ist mit dem Unterbrecher U (vorausgesetzt, daß der Unterbrecher einen Stromwender hat, sonst wie unter I Seite 65) unter Zwischenschaltung einer Sicherung S, eines Ampèremeters Ap, eines Regulierwiderstandes RW_1 und eines Ausschalters A_1 verbunden. Parallel zur Batterie ist mit Verwendung eines Ausschalters A_2 das Voltmeter V geschaltet.

Der Motor des Unterbrechers U wird durch eine besondere Batterie B_2 angetrieben; ein Regulierwiderstand RW_2 gestattet die Tourenzahl in weiten Grenzen zu ändern. Über die Schaltung des Unterbrechers zur Primärspule und zum Kondensator sagt Abschnitt IV Seite 65 u. ff. alles Wissenswerte. Hier sei noch einmal daran erinnert, daß der Hauptstrom nicht eher eingeschaltet werden darf, als bis der Unterbecher in vollem Gange ist. Der Ausschalter A_1 ist nicht unbedingt nötig (vgl. Seite 47), aber sehr bequem, da man dann den Stromwender in seiner ausgeprobten Stellung belassen kann und nicht so leicht Gefahr läuft, ihn nach der falschen Seite zu schließen (vergl. Seite 49).

Die Größe des Induktors bringt es mit sich, daß man mit Vorteil, wie in Fig. 89 angedeutet, die Sicherheitsfunkenstrecke ganz von ihm trennt und auf einem besonderen Stativ anordnet.

Um dem Leser eine Vorstellung von dem Aussehen einer wie vorstehend beschriebenen Anlage zu geben, fügen wir die Abbildung einer von Reiniger, Gebbert & Schall in Erlangen ausgeführten Einrichtung bei (Fig. 90). Induktor, Motor-Unterbrecher und Batterie sind auf einem Tische fahrbar angeordnet, was sich für viele Fälle sehr empfiehlt, dagegen alle Schalt- und Meßinstrumente in übersichtlicher Weise auf einem Schaltbrett an der Wand zusammengestellt. Man erkennt Volt- und Ampèremeter, darunter Bleisicherung, Hauptausschalter und den Schalter für den Motor; noch etwas tiefer den Regulierwiderstand. Der Induktor hat eine Funkenlänge von etwa

50 cm. Als Sicherheitsfunkenstrecke wird die Einrichtung auf dem Induktor benutzt.

Der Wunsch, eine Röntgenstrahlen-Einrichtung ohne die schwerfälligen und in der Wartung umständlichen Akkumulatorenbatterien betreiben zu können, wird überall da besonders rege sein, wo der Anschluß an das Netz einer Zentrale vorhanden oder leicht zu erreichen ist.

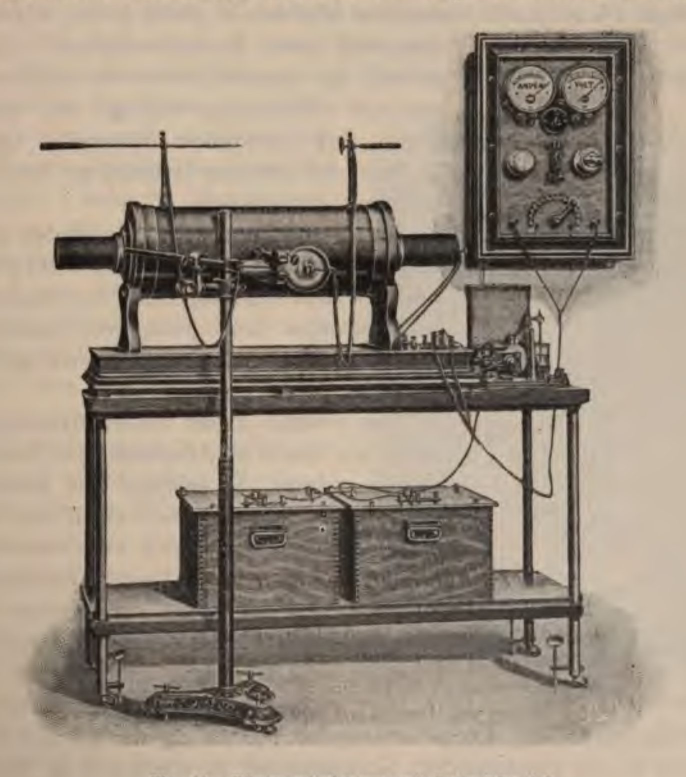


Fig. 90. Röntgeneinrichtung mit Batteriebetrieb.

Allerdings ist eine Verbindung ohne weiteres wegen der hohen Spannung (meist 110 Volt) im allgemeinen durch das Verhalten der Unterbrecher unmöglich gemacht. Sowohl Platin- wie Quecksilber-Unterbrecher beginnen bei dieser Spannung an der Unterbrechungsstelle einen Lichtbogen zu ziehen, der die Exaktheit der Unterbrechung vernichtet. Die Spannung muß daher herabgesetzt werden.

Man hat hierzu zwei Mittel, entweder transformiert man den Strom oder legt zur Hauptleitung einen Nebenschluß. Letzteres Verfahren hat die größere Einfachheit für sich, welche im Verein

mit der Bequemlichkeit einer stets bereiten Stromquelle den Verlust an Energie verschmerzen läßt (vgl. Seite 14).

Soll der Strom in eine für den Unterbrecher des Induktors passende Form ohne großen Energieverlust gebracht werden, so transformiert man ihn auf folgende Weise. Der Zentralenstrom speist einen Elektromotor mit einer Wickelung für 110 Volt Spannung. Von diesem wird durch Riemenlauf oder besser durch direkte Achsenkupplung eine Dynamomaschine angetrieben, die ihrerseits wiederum durch eine passende Wickelung befähigt ist, einen Strom von geringerer Spannung (etwa 20 Volt) bei erhöhter Stromstärke für den Induktor zu liefern.[1])

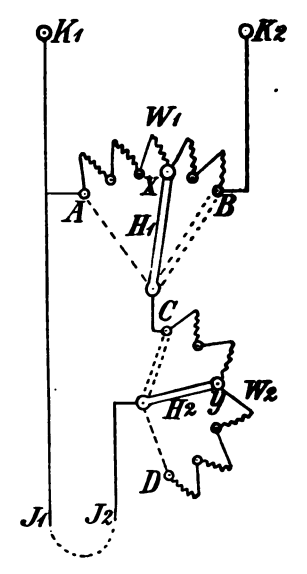


Fig. 91. Schematischer Stromverlauf im Nebenschlußwiderstand.

Da die Wartung der Maschinen umständlich ist und sie außerdem recht teuer sind, so zieht man allgemein die Abnahme eines Stromes von geringerer Spannung mit Hilfe eines einfachen Nebenschlußwiderstandes vor.

Das Prinzip dieser Stromverzweigung haben wir bereits im Abschnitt I auf Seite 12 kennen gelernt. Es erübrigt hier noch zu sagen, daß nicht nur zwischen den Abzweigstellen, sondern auch vor einer derselben im Hauptstromkreise Widerstand liegen muß. Weiterhin ordnet man im Nebenschlußkreise bisweilen einen Regulierwiderstand an, um innerhalb der abgenommenen Spannungsgrenzen noch eine feinere Stromstärkeabstufung zu haben. Die schematische Anordnung der ganzen Vorrichtung ist aus beistehendem Stromlaufbild zu ersehen (Fig. 91).

Der elektrische Strom kommt von den Klemmen K_1 K_2 der Lichtleitung und ist durch die Drahtspiralen W_1, welche einen genügend hohen Widerstand darstellen müssen, geschlossen. Auf den Kontaktknöpfen des Widerstandes W_1 schleift der Stromabnahmehebel H_1, der seinerseits wieder mit den Widerstandspiralen W_2 in Verbindung steht. Eine zweite auf W_2 gleitende Kontaktkurbel H_2 ist mit der Leitung J_2 verbunden.

[1]) Auf Seite 33 wurde ein derartiger Transformator für Wechselstrom-Gleichstrom bereits beschrieben. Man hat sich den Drehstrommotor nur durch einen Gleichstrommotor ersetzt zu denken.

Der Stromlauf ist leicht zu übersehen. Vorausgesetzt, daß die Zuleitung stark genug und der Widerstand W_1 nicht zu gering ist, wird zwischen A und B die volle Spannung der Lichtleitung herrschen und ebenfalls an den Enden der Nebenschlußleitung J_1 J_2, falls Hebel H_1 auf B und Hebel H_2 auf C steht. Denn dann läuft der Strom, welcher von K_2 hereintreten möge, über H_1, H_2, J_1 nach K_1 zurück, ohne einen Widerstand zu finden. In dem Maße nun, als der Hebel H_1 nach A vorgerückt wird, tritt der Widerstand Bx in die Nebenschlußleitung, gleichzeitig wird der Widerstand Ax zwischen den Abzweigpunkten mehr und mehr ausgeschaltet, was, wie bereits aus dem Abschnitt I bekannt, eine Verminderung der Spannungsdifferenz zwischen Ax als auch zwischen J_1 J_2 zur Folge hat. Bei der Hebelstellung auf A_1 ist die Potentialdifferenz $= 0$ geworden und den Nebenschluß durchfließt kein Strom mehr. Man hat es also durch Verstellen der Kurbel in der Hand, die Spannung für den Nebenschluß vom Betrage 0 bis zur Betriebsspannung beliebig zu wählen. Der Widerstand W_2 erlaubt für jeden Fall noch eine zarte Abstufung der Stromstärke. Der durch den Widerstand W_1 von A nach B direkt übergehende Strombetrag stellt den Verlust dar, von dem wir bereits gesprochen haben. Die Leitungen J_1 und J_2 führen zur Gebrauchsstelle.



Fig. 92. Abzweigwiderstand für den direkten Betrieb von der Lichtleitung.

Ernecke-Berlin baut einen Widerstand, bei dem durch Verstellen der beiden Kurbeln und bei einer Betriebsspannung von 110 bezgl. 65 Volt, die Nutzspannung zwischen 5 und 35 Volt variiert werden kann (Fig. 92). Beide Widerstandssätze und ebenso beide Kurbeln sind auf einer Grundplatte vereinigt. Mit Hilfe einer derartigen Nebenschlußvorrichtung können natürlich Induktoren jeder Konstruktion vom Leitungsnetz aus betrieben werden.

Nicht für alle Fälle ist es nötig, zwei Widerstände verändern

zu können. Reiniger, Gebbert & Schall ziehen es daher vor, den Apparat der Einfachheit halber nur mit einer Regulierkurbel zu versehen.

Unter Benutzung eines Abzweigwiderstandes würde also eine Anlage mit größerem Induktor ohne Stromwender und einem, ebenfalls von der Lichtleitung aus zu betreibenden, gesonderten Motor-Unterbrecher, folgende Gestalt zu erhalten haben. Von der Lichtleitung (Fig. 93) werden die Leitungen L_1 und L_2 abgezweigt. Erstere speist den Motor des Unterbrechers, letztere den Induktor. Wir ver-

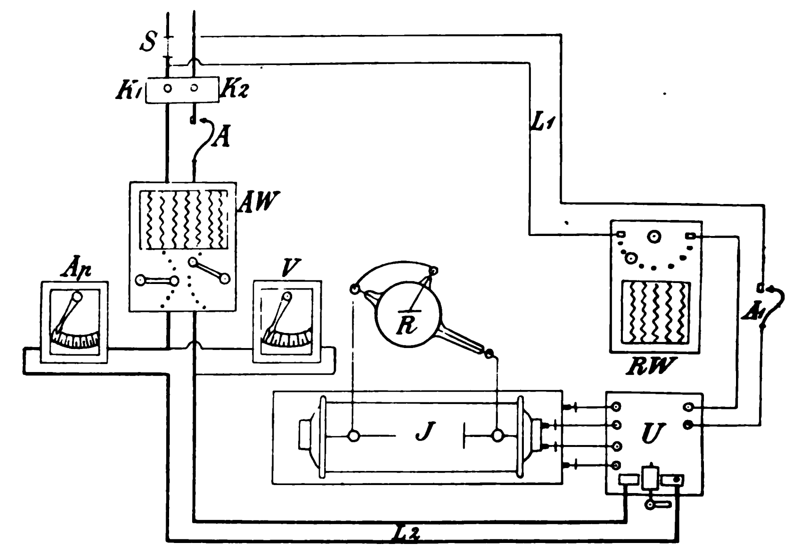


Fig. 93. Größere Röntgeneinrichtung im Anschluß an das Lichtleitungsnetz.

folgen zunächst die Leitung L_2, welche von den Klemmen K_1 K_2 ausgeht und an den Abzweigwiderstand *AW*, je nach der Konstruktion desselben verschieden, angeschlossen wird. *A* ist der Hauptausschalter, den man auch vor die Bleisicherung *S* legen kann, wodurch er dann zugleich auch die Leitung L_1 stromlos macht.

Von dem Abzweigwiderstand *AW* läuft die Leitung zum Stromwender des Unterbrechers *U*, nachdem sie das Ampèremeter *Ap* durchsetzt hat. Um den Betrag zu kennen, bis auf welchen jeweils der Abzweigwiderstand die Spannung ermäßigt, wird zweckmäßig in Parallelschaltung zur Hauptleitung das Voltmeter *V* angefügt. Der Anschluß des Unterbrechers erfolgt nach einem der Schemata auf Seite 65 und Seite 66. Gezeichnet ist in der Figur Sc

welches voraussetzt, daß ein, durch einen Motor angetriebener, gesonderter Unterbrecher zur Verwendung gelangt.

Der Strom für den Unterbrecher-Mechanismus wird, wie schon erwähnt, mittels der Leitung L_1 ebenfalls der Lichtleitung entnommen. Die Abzweigung erfolgt am besten so, daß die Bleisicherung S ebenfalls im Stromkreise L_1 liegt. RW ist ein Regulierwiderstand, welcher die Geschwindigkeit des Motors beliebig abzustufen gestattet, A_2 ein Ausschalter für denselben (in der Figur nicht bezeichnet).

Wir machen an dieser Stelle wiederum darauf aufmerksam, daß der Stromwender des Unterbrechers bezgl. der Ausschalter nicht eher

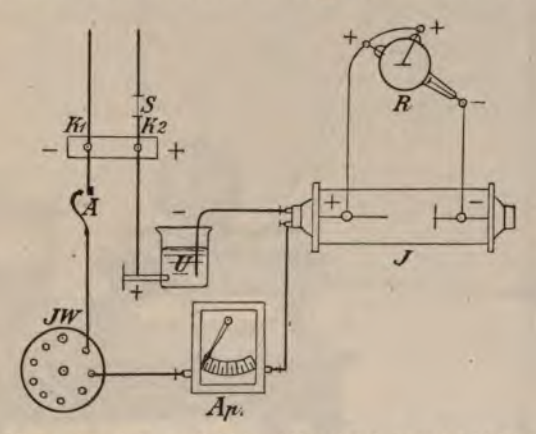


Fig. 94. Schaltung einer Anlage mit Wehnelt-Unterbrecher an das Lichtleitungsnetz.

geschlossen werden darf, als bis der Motor in Bewegung ist. Nicht nötig ist diese Vorsicht bei den Turbinen-Unterbrechern (siehe Seite 75 ff.).

Wesentlich einfacher wird die Anlage bei Benutzung des Wehnelt-Unterbrechers. Da derselbe vorzugsweise gut bei der Spannung von 110 Volt arbeitet, so fällt der Nebenschlußwiderstand fort. Die positive Klemme der Lichtleitung (Fig. 94) wird mit der regulierbaren Platinspitze des Unterbrechers U verbunden, die Bleiplatte mit der Primärspule des Induktors. Hat der letztere an und für sich die zur Auslösung der Unterbrechertätigkeit erforderliche Selbstinduktion, so kann die negative Klemme K_1 der Leitung ohne weiteres an den anderen Pol der Primärspule gelegt werden. Die Stromstärke wird dann durch allmähliches Vorschieben des Platinstiftes reguliert. Andernfalls ist ein induktiv gehaltener Vorschaltwiderstand IW nötig, der unter gleichzeitiger Beobachtung eines in die Leitung ge-

schalteten Ampèremeters reguliert wird. Das Anlassen des Induktors gestaltet sich dann folgendermaßen. Die Platinspitze wird ganz in



Fig. 95. Anlage mit Wehnelt-Unterbrecher.

ihre Hülse zurückgeschraubt, dann der Regulierhebel des Widerstandes etwa auf die Mitte gestellt und der Ausschalter *A* geschlossen. Nun dreht man den Platinstift hervor, bis die Unterbrechungen einsetzen und liest das Ampèremeter ab. Es wird im allgemeinen die gewünschte Stromstärke noch nicht zeigen. Durch allmähliches Ausschalten des Widerstandes und — sollte die Stromstärke dabei zu hoch werden — durch Zurückziehen des Platinstiftes, erreicht man es, daß schließlich aller Widerstand bis auf die letzte besonders induktiv gestaltete Windung ausgeschaltet ist. Fernerhin genügt der Schluß des Ausschalters, um die Vorrichtung sofort in Gang zu setzen. Weitere Stromstärkeregulierungen werden dann zweckmäßig nur durch Verschieben der Platinspitze vorgenommen.

Eines Kondensators bedarf der Induktor nicht, und die Klemmen eines etwa an demselben vorhandenen bleiben offen (vergl. Seite 81). Sollte der Unterbrecher aussetzen, was jedoch nur bei sehr geringen Stromstärken (kleiner Spitze) vorkommt, so genügt ein schnelles Öffnen und Schließen des Ausschalters, um die Unterbrechungen wieder in Gang zu bringen (siehe auch Walter-Schaltung Seite 91).

Da der elektrolytische Unterbrecher nur durch 2 Drähte mit dem übrigen Instrumentarium in Verbindung steht, ist es ein leichtes, ihn in einem anderen Zimmer unterzubringen. Diese Anordnung wird sich namentlich bei Aufnahmen und Durchleuchtungen nervöser Personen bewähren (siehe Seite 88).

Fig. 95 zeigt eine Anlage mit Wehnelt-Unterbrecher von Kohl in Chemnitz, die durch ihre große Einfachheit und Übersichtlichkeit sehr vorteilhaft auffällt. Induktor, Unterbrecher, Meßinstrument und Ausschalter sind auf einem kleinen Tisch angeordnet, der Regulierwiderstand seitwärts zur rechten Hand. Die Röhre wird von einem besonderen Stativ getragen.

Durchaus anders gestaltet sich eine Anlage für Wechselstrom bei Benutzung des Kohlschen Wechselstrom-Unterbrechers, der auf Seite 93 der Konstruktion nach eingehend gewürdigt wurde. Der Wechselstrom, der den Klemmen der Hauptleitung (Fig. 96) seine Impulse zuschickt, soll sowohl dem Induktor als auch dem Erregermagneten des Unterbrechers Energie zuführen. Zu dem Zweck verzweigt sich die Leitung hinter dem Ausschalter *A*. Der eine Zweig führt über den Regulierwiderstand *RW* zu den Stromwenderklemmen des Unterbrechers *U*, dessen Schaltung zum Induktor sich im besonderen nach Seite 65 ergibt. Der andere führt über den Transformator *T*, den Widerstand *W* zu den Klemmen des Ausschalters für den Unterbrechermagneten. *T* und *W* dienen im allgemeinen

der Abschwächung des Stromes, ihre intimere Wirkungsweise braucht hier nicht erläutert zu werden. Der Unterbrecher wird zuerst in Gang gesetzt und dann erst der Stromwender geschlossen. Die Behandlung des Unterbrechers wurde bereits auf Seite 94 besprochen.

Auch der Turbinen-Unterbrecher läßt sich in der auf Seite 95 besprochenen Abänderung für Wechselstrom gebrauchen. Fig. 101 zeigt eine derartige Anlage der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft-Berlin.

Über die zweckmäßige Anordnung der Apparate im allgemeinen sollen hier noch einige Winke folgen. Alle zusammengehörigen Apparate, also der Induktor, der Unterbrecher, sowie die

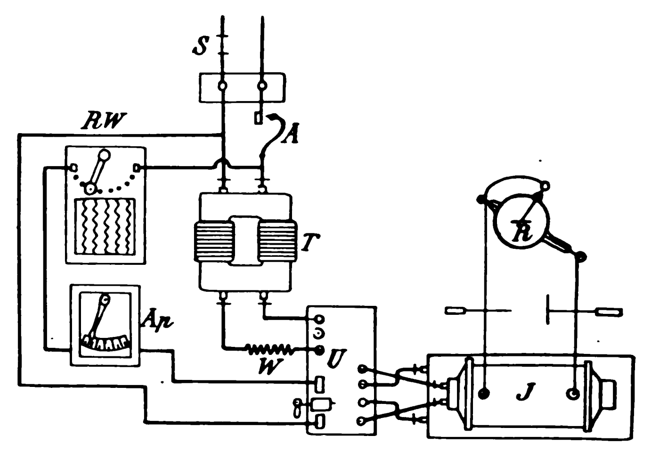


Fig. 96. Anlage für Wechselstrom.

zugehörigen Widerstände und Meßinstrumente werden womöglich an einem Tisch vereinigt. Wennschon es vorteilhaft ist, die Instrumente so anzuordnen, daß der Stromverlauf ein möglichst klarer und übersichtlicher bleibt, so darf darunter doch nicht die Sicherheit des Betriebes leiden, und diese verlangt, daß jeder Apparat bequem zur Hand ist und auch im Dunkeln ohne Irrtum gefunden werden kann. Hierdurch ergibt sich eine Gruppenbildung von selbst.

Der Hauptausschalter, worunter wir denjenigen verstehen, der, hinter der Stromquelle eingefügt, dieselbe sofort von allen übrigen Apparaten zu trennen vermag, sollte gleich zur rechten Hand sein, ebenso der Ausschalter für den Unterbrechermotor. Um Verwechslungen im Dunkeln vorzubeugen, können verschiedene Typen gewählt werden, z. B. für den H belform für den Motorausch

Um ein Hintereinander der Apparate zu vermeiden, welches zu einem Umstoßen leicht Veranlassung geben kann, hält man die Plattform des Tisches zweckmäßig von Nebenapparaten nach Möglichkeit frei und montiert, wenn angängig, die Regulierwiderstände vorn oder seitlich am Tisch, die Kurbeln in erreichbarer Höhe. Dann bleibt die Platte für den Induktor und die Meßinstrumente, sowie für den Ausschalter frei. Der Induktor steht links auf dem Tisch, vor oder rechts neben ihm Ampèremeter und Voltmeter, ganz rechts, gleich zur Hand, die Ausschalter. Ist, wie bei größeren Induktoren, eine besondere Funkenstrecke nötig, so wird dieselbe vorteilhaft etwas erhöht h i n t e r dem Induktor aufgestellt und nicht neben demselben, wo sie nur im Wege ist.

Verfügt man über ein besonderes auf dem Fußboden stehendes Röhrenstativ, so ordnet man dasselbe gerade vor dem Induktor an, um unnütze Stromverluste zu vermeiden, so dicht an demselben, als es die besonderen Umstände irgend gestatten. Jede allzu lange Zuleitung zu der Röhre ist zu vermeiden, wenn die Hochspannungskabel nicht sehr gut isolieren. Gut ist es, der Röhre eine Viertelwendung zu geben, so daß die Emission der Strahlen parallel zur Tischkante erfolgt. Dies hat den Vorteil, daß der Beobachter während der Durchleuchtung mit der rechten Hand die Ausschalter, den Unterbrecher und die Widerstände bedienen kann.

Wenn irgend angängig, sollte man für Durchleuchtung und photographische Aufnahmen einen eigenen Raum zur Verfügung haben. Er braucht nicht groß zu sein, 10 qm Grundfläche genügen vollkommen. Man kann dann in Ruhe alles vorbereiten und jedem Stück seinen besonderen Platz geben, damit es in der Eile nicht erst gesucht zu werden braucht. Recht brauchbar ist ein Raum, der zu ebener Erde liegt. Dorthin lassen sich die Akkumulatoren am leichtesten transportieren. Will man eine besondere Dunkelvorrichtung vermeiden, so verklebt man die Fenster mit schwarzem sogenannten Dunkelkammerpapier. Man kann allerdings auch bei Licht beobachten, aber das später zu besprechende Fluoroskop ist nicht immer bequem und wird der besseren Orientierung wegen oft durch den freien Leuchtschirm ersetzt werden müssen.

Drahtstücke halte man in passenden Längen zugeschnitten vorrätig; sehr empfehlenswert sind biegsame Drahtlitzen, an deren entblößten Enden man passend zu den Durchbohrungen der Klemmen Drahtstücke von etwa 2 cm Länge anlöten läßt. Um sie stets bereit zu haben, hängt man sie der Länge nach geordnet an die Wand [illegible]ihte spiralförmig aufzurollen und in Schubladen auf-

zubewahren, ist durchaus nicht ratsam; sie werden sich stets in dem Augenblick, wo man sie am dringendsten braucht, unentwirrbar ineinander verhakt haben.

Sehr bequem ist für den Induktor ein fahrbarer Tisch, je einfacher und stabiler er ist, um so besser. Er ermöglicht es, ohne Verlängerung der Verbindung zwischen Induktor und Röhre sich dem Untersuchungsobjekt zu nähern, was z. B. bei Kranken, deren Lage sich nur schwer verändern läßt, von Vorteil sein kann.

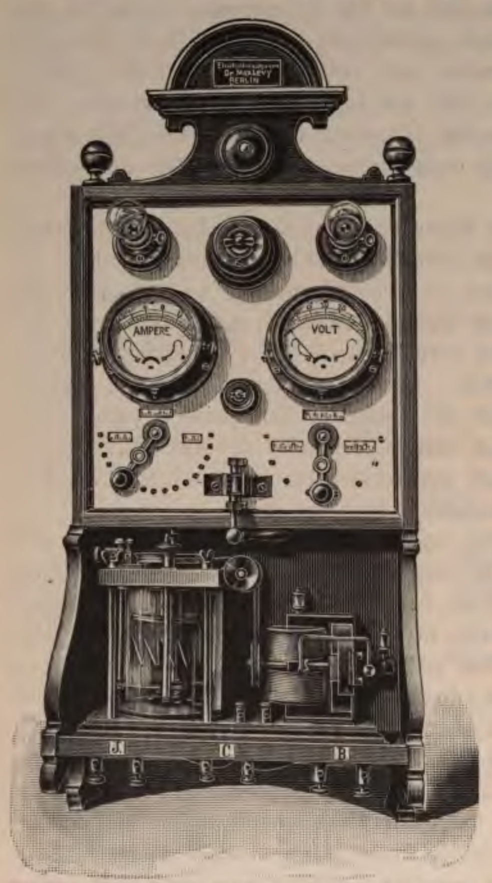


Fig. 97. Schaltbrett in Verbindung mit einem Quecksilberstrahl-Unterbrecher.

Bei den neueren Konstruktionen geht überhaupt das Bestreben mehr und mehr dahin, den Induktor beweglich und unabhängig von den übrigen Apparaten zu machen. Die letzteren werden dann in passender Gruppierung auf einem Schaltbrett vereinigt, sogar der Unterbrecher, falls er gesondert betrieben wird, erhält seinen Platz auf demselben (Fig. 97 nach Levy-Berlin). Die Akkumulatoren werden dann auf der unteren Plattform des Tisches dem Induktor zugeordnet oder unter das Schaltbrett gestellt. Die Anordnung hat den Nachteil, daß der Beobachter meist nicht zugleich die Schaltapparate bedienen kann, den Vorteil, daß bei ihrer Einstellung, namentlich im Dunkeln, die gefährliche Nähe des Induktors vermieden ist.

Bisweilen zieht man es vor, das gesamte Instrumentarium in einem Schrank zu verschließen, der dann für den Gebrauch geöffnet

wird. (Siehe Figur 98 nach Reiniger, Gebbert & Schall-Erlangen und Fig. 99 nach Kohl-Chemnitz.)

Ist der Induktor nicht transportabel, etwa an der Wand befestigt, so wird zweckmäßig die Reguliervorrichtung samt Widerständen und Ausschaltern beweglich gemacht, um dem Beobachter an der Röhre stets zur Hand zu sein. Siemens & Halske befestigen auch die Meßinstrumente am Widerstandstisch, was gewiß in vielen Fällen eine Annehmlichkeit bedeutet (Fig. 100). Der dargestellte transportable



Fig. 98. Verschließbare Röntgeneinrichtung.

Widerstand ist für den Wehnelt-Unterbrecher bestimmt. Fig. 101 zeigt eine Einrichtung der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft-Berlin mit festem Induktor und Meßinstrumenten, Rollwiderstand und Turbinen-Unterbrecher. Das Handrad am Unterbrecher im Hintergrund deutet darauf hin, daß die Anlage für Wechselstrom bestimmt ist.

Es kann nicht Aufgabe des Buches sein, an dieser Stelle alle mehr oder minder eleganten und zweckmäßigen Ausführungsformen von Röntgeneinrichtungen zu besprechen. Enthalten sie einen guten [illegible] Unterbrecher, so wird immer die einfachste zugleich

auch die beste sein. Die Einrichtungen mit eigenen Kraftmaschinen und Stromerzeugern können hier ebenfalls übergangen werden.

Für Krankenhäuser wird es oft wesentlich sein, eine fahr- und tragbare Einrichtung zu besitzen, die ohne besondere Mühe an das Krankenbett gebracht werden kann. Hierzu müssen die schweren Akkumulatoren durch Teilung in kleinere Kästen transportabel ge-



Fig. 99. Verschließbare Röntgeneinrichtung.

macht werden. Alle übrigen Apparate, also Induktor, Widerstände, Unterbrecher u. s. w. werden in einem Schränkchen vereinigt, das mit Rollen versehen ist und an den Seiten zwei starke Handgriffe hat, an denen es die Treppen hinauf transportiert und über Schwellen gehoben werden kann. Die Akkumulatorenkästen werden einzeln transportiert und erst an Ort und Stelle zusammengeschaltet, was

wenige Augenblicke Zeit erfordert. Ist in den einzelnen Krankensälen Anschluß an die elektrische Lichtleitung vorhanden, so gestaltet sich die ganze Anordnung natürlich entsprechend einfacher. Jedes überflüssige, nur der Eleganz und Ausstattung dienende Beiwerk ist selbstverständlich fortzulassen.

Für Kriegszwecke werden außerdem noch ganz besondere Anforderungen an die Stabilität der Anlage gestellt, da sie nicht immer schonend behandelt werden kann und oft auch von Ungeübten bedient werden muß. Die Einrichtung von Levy-Berlin (Fig. 102) besteht aus drei einzelnen Kästen, von denen jeder an starken Griffen getragen werden kann. Ein fahrbares Untergestell ist ebenfalls vorhanden. Die Kästen lassen sich so übereinanderstellen, daß die Akkumulatorenbatterie nach unten, der Induktor darüber und der Kasten mit dem Kondensator, dem Unterbrecher u. s. w. zuoberst zu stehen kommt. Die Verbindungskabel sind in ihrer Länge so abgepaßt, daß eine falsche Schaltung nicht vorkommen kann. Der heikelste Punkt der ganzen Anlage ist zweifellos die Akkumulatorenbatterie, von deren Zuverlässigkeit bei der im Felde unausbleiblichen rohen Behandlung nicht viel zu halten ist. Auch ist es mit einer zeitweiligen Aufladung schlecht bestellt, denn nicht immer dürfte die den Feldlazaretten meist beigegebene Scheinwerferdisponibel sein. Sollte es einmal gelingen, für Röntgenzwecke

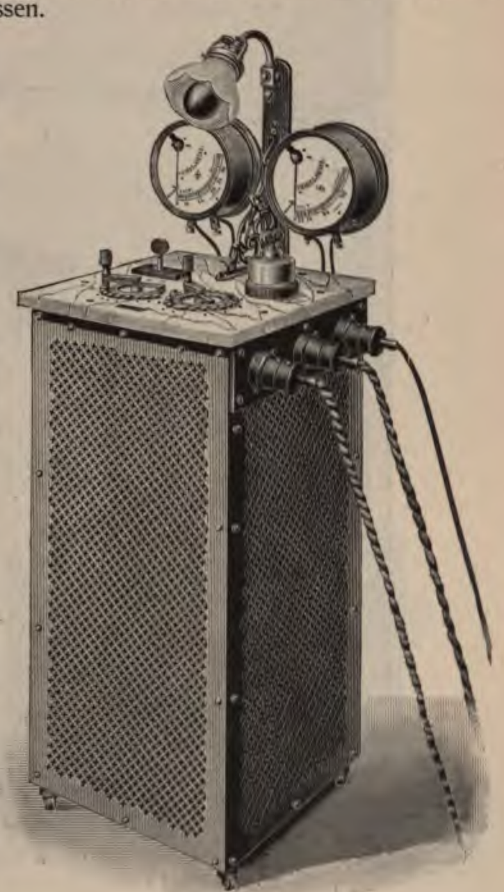


Fig. 100. Fahrbarer Schalttisch.

starke und unter allen Umständen zuverlässige Influenzmaschinen zu konstruieren, so wäre viel gewonnen. Einstweilen ist allerdings die Aussicht dazu sehr gering.

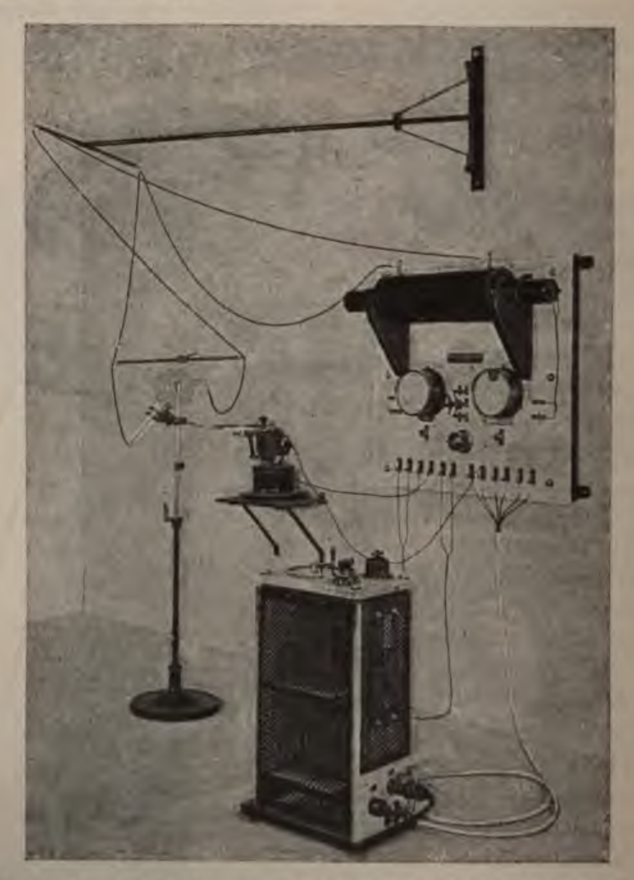


Fig. 101. Einrichtung für Wechselstrom mit festem Induktor und fahrbarem Schalttisch.

Betriebsstörungen.

Fast kein Tag vergeht, an dem nicht etwas an einer Röntgen-Einrichtung in Unordnung geriete. Bald versagt der Unterbrecher, bald die Röhre, bald die Stromquelle u. s. w.

Sofern der Sitz des Fehlers festgestellt ist, kann man nach den Abschnitten des Buches verfahren, in denen jeweilig das defekte Glied
beschrieben ist. Die Bestimmung des Fehlers
Ursache der Störung nicht augenfällig ist,

oft erhebliche Schwierigkeiten und fatalen Zeitverlust herbeiführen. — Da es an dieser Stelle natürlich nicht angeht, jede mögliche Störung zu besprechen, so soll nur in Kürze der Weg angegeben werden, auf dem man bei einer Untersuchung am schnellsten zum Ziele kommt. Es wird oft nicht der kürzeste sein.

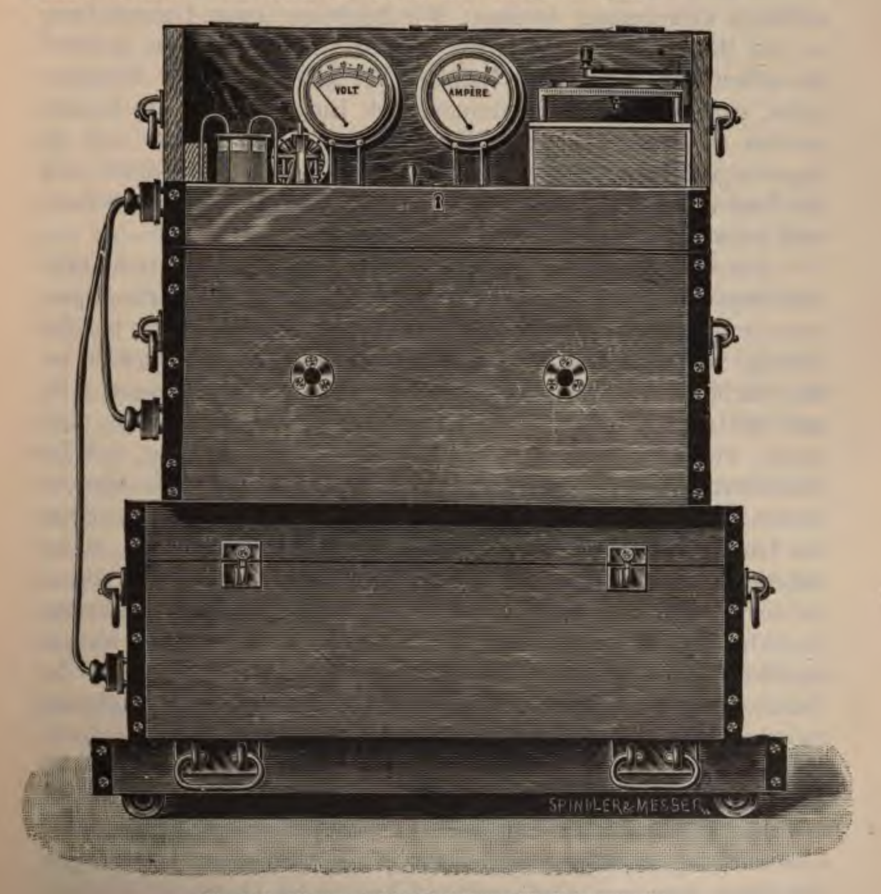


Fig. 102. Transportable Einrichtung für Kriegszwecke.

Vor allem sollte bei jeder Einrichtung eine vollständige Schaltungsskizze vorhanden sein. Liefert die Fabrik dieselbe nicht mit, so fertigt man sie selbst an und hängt sie in der Nähe des Instrumentariums fest auf.

Jeder Teil der Anlage kann der Sitz der Betriebsstörung sein; so mehr Glieder des Mechanismus werden von ihr betroffen,

je näher der Fehler der Stromquelle, dem Herzen der Anlage, liegt. Durch Eingrenzung von der Peripherie her kann daher der Defekt am sichersten gefunden werden.

Um ein Beispiel zu bilden, möge angenommen werden, daß die auf Seite 125 gezeichnete und beschriebene Anlage plötzlich ohne auffällige Veranlassung aussetze. Wir beginnen unsere Untersuchung an der Röhre selbst. Sie erhält keinen Strom, auch das Knistern der stillen Entladungen am Induktor hat aufgehört. Wir bemerken indes, daß der Unterbrechermotor noch läuft; der Teil der Anlage, welcher die Batterie B_2, den Widerstand RW_2, den Motor und die zugehörige Leitung enthält, ist also jedenfalls intakt. Hierdurch wird der Fehler bereits stark eingeengt. Er muß in der Hauptleitung vom Induktor bis zur Batterie B_1 liegen.

Zur weiteren Untersuchung benutzen wir am besten ein Glühlämpchen von Batteriespannung, dessen einen Draht wir an die Minusklemme der Batterie legen; mit dem anderen suchen wir die positive Leitung von der linken Stromwenderklemme, nach der Batterie zu, ab. Nachdem die Klemmen des Ausschalters, des Widerstandes RW_1 und des Ampèremeters berührt worden sind und die Lampe noch immer nicht leuchtet, liegt allerdings der Gedanke nahe, daß die Bleisicherung S durchgebrannt ist. Aber wir berühren die Klemme derselben, welche nach der Batterie zu liegt und noch immer erhält das Lämpchen keinen Strom. Folgerung: Der Fehler liegt in der Batterie selbst. Doch auch an der linken Plusklemme und ebenso an der Minusklemme des ersten Batteriekastens zeigt sich kein Erfolg. Endlich, bei der Berührung der Plusklemme des zweiten Kastens leuchtet die Lampe, schwach natürlich, da sie nur die Hälfte der Batteriespannung erhält. Wir folgern nunmehr, daß der Defekt zwischen der Minusklemme des ersten und der Plusklemme des zweiten Kastens liegen muß. Eine Untersuchung ergibt in der Tat einen Bruch des Verbindungsdrahtes dicht an der einen Klemme.

Nicht immer wird man seine Zuflucht zu einer so pedantischen Untersuchung zu nehmen brauchen. Es gibt viele Betriebsstörungen, bei denen man von vornherein ein bestimmtes Organ im Verdacht hat; so z. B. wird bei einem plötzlichen Aussetzen des Stromes zunächst die Vermutung nahe liegen, daß die Sicherung durchgebrannt ist, bei einem plötzlichen Aufbrausen der Akkumulatoren, daß irgendwo ein Kurzschluß entstanden ist u. s. f. Darüber entscheidet die Erfahrung. Dem Anfänger ist aber anzuraten, systematisch vorzugehen, solange er diese Erfahrung nicht besitzt.

VII. Abschnitt.

Radioskopie und Meßkunde.

Die Röntgenstrahlen sind zwar selbst unsichtbar; sie verraten sich jedoch dem Auge durch ihre Fähigkeit, eine Reihe von Körpern zum Leuchten anzuregen. Unter ihnen sind das Bariumplatincyanür und Kaliumplatincyanür, ferner die Sidotsche Blende,[1]) Urankaliumsulfat, Fluorcalcium, Diamant u. s. w. zu nennen.

Dies „Fluorescenz" genannte Selbstleuchten kommt nur während der Dauer der Bestrahlung, d. h. nur solange der Körper Energie aufnimmt, zustande und unterscheidet sich hierdurch von der „Phosphorescenz" genannten Erscheinung.

Man sieht im Grunde also nur die Wirkung der Röntgenstrahlen am Bariumplatincyanür, nicht die Strahlen selbst, und darf streng genommen auch nicht von einem „Schatten" reden, wenigstens nicht in dem geläufigen Sinne. Die oft gebrauchten Bezeichnungen „Röntgenlampe" und „Röntgenlicht" sind daher sehr geeignet, dem Physiker einiges Unbehagen zu verursachen. (Siehe IX. Abschnitt.)

Von den fluorescierenden Substanzen kommen für die Praxis nur das Barium- und das Kalium-Platincyanür in Betracht. Von diesen ist wieder das Bariumplatincyanür dem Kaliumplatincyanür an Leuchtwirkung nicht unbeträchtlich überlegen; ersteres fluoresciert grün, letzteres blau. Dafür hat das zweitgenannte den Vorteil, etwa um die Hälfte billigere Leuchtschirme zu liefern; mäßigen Ansprüchen mag es daher auch für direkte Beobachtung genügen.[2])

Beide Substanzen werden auf starkes, in Rahmen straff befestigtes Papier aufgetragen. Ein Überzug mit Firnis schützt die Leuchtschicht und bietet den Vorteil, Unreinigkeiten mit kaltem Wasser und einem

---

[1]) Die Sidotsche Blende ist anscheinend reines hexagonales Schwefelzink.

[2]) Mit wolframsaurem Calcium präparierte Schirme fluorescieren blau und sind etwa dreimal billiger wie solche aus Bariumplatincyanür; man [illegible] sie ebenfalls zur direkten Beobachtung gebrauchen, doch finden sie [illegible]r als Verstärkungsschirme Verwendung. (Siehe Abschnitt VIII.)

Schwamm beseitigen zu können. Schutzüberzüge aus Gelatine oder Celluloid, welche die Cyanürschicht vor mechanischer Verletzung bewahren sollen, geben dem Schirm durch Kräuseln und Verwerfen leicht ein recht unansehnliches Äußere. Bei einem Ankauf achte man vorzugsweise auf ein feines und gleichmäßiges Korn des Bariumplatincyanürs. Wärme und Sonnenlicht färben den Schirm bald gelbbraun, wodurch er seine Leuchtkraft einbüßt. Es empfiehlt sich daher durchaus, ihn in einer Mappe in einem kühlen Raum aufzubewahren.[1])

Die direkte Beobachtungsmethode stützt sich auf die Eigenschaft der fluorescierenden Körper, unter den Röntgenstrahlen in Schwingungen zu geraten, die innerhalb der als Licht bezeichneten Oktave von etwa 400 bis 800 Schwingungsbillionen liegen. Sie hat trotz ihrer Jugend eine große Reihe mehr oder minder schöner Namen erhalten. Radioskopie, Fluoroskopie, Diaskopie, Aktinoskopie, Kryptoskopie sind noch die besten. Wir wählen in Ermangelung eines prägnanten deutschen Ausdruckes die Radioskopie und stellen sie der Radiographie gegenüber, welche die Wirkung der Röntgenstrahlen auf die photographische Platte in den Dienst der indirekten Beobachtungsmethode stellt.

Während selbst noch ein Jahr nach Röntgens Entdeckung von einer erfolgreichen Anwendung der direkten Beobachtungsmethode wegen der geringen Kraft der Röhren und der Unstätheit des Leuchtfeldes kaum die Rede sein konnte, ist dieselbe heute in vieler Hinsicht der photographischen ebenbürtig, teilweise überlegen, zur Beobachtung von Bewegungsvorgängen, wie z. B. der Atmungs- und Herztätigkeit sogar die einzig mögliche.

Im folgenden sollen die Grundzüge der direkten Beobachtungsmethode erörtert werden.

Vor jeder Untersuchungsreihe vergewissert man sich über die richtige Stellung des Stromwenders (Seite 49), dann erst zieht man Spitze und Platte auf maximale Schlagweite auseinander und verbindet die Elektroden der Röhre mit den Polen des Induktors nach Fig. 71. Im Interesse einer langen Lebensdauer der Röhre wird diese nur so weit durch Verstellen des Regulierwiderstandes mit Strom belastet, als zur Erreichung des beabsichtigten Zweckes eben erforderlich ist. Gerät die Antikathode in starke Glut, so schaltet man beizeiten aus und läßt unter Zerlegung der Beobachtung in mehrere Abschnitte der Röhre Zeit zur Abkühlung.

[1]) Übrigens verursachen auch die Röntgenstrahlen ähnliche Erscheinungen.

Ein durables Stativ zum Einklemmen der Röhre stellt man entweder auf den Tisch oder in größerer Ausführung auf den Fußboden, oder man befestigt es wohl auch an der Wand (Fig 103 nach Reiniger, Gebbert & Schall). Beweglichkeit des Röhrenhalters nach allen Richtungen muß vorhanden sein. Die Röhre wird so gedreht, daß die von den Kathoden getroffene Seite des Platinbleches von allen Stellen aus sichtbar ist, welche durchleuchtet werden sollen. Führt man den Fluorescenzschirm um die arbeitende Röhre herum, so wird man sich überzeugen können, daß in der Tat die Strahlung nach allen diesen Punkten gleich stark ist. Der Schirm wird hierbei so gehalten,



Fig. 103. Wandarm für Röntgenröhren.

daß die Cyanürschicht dem Beobachter zugekehrt ist, während die von der Röntgenröhre ausgehenden Strahlen zunächst die Papierschicht durchdringen. Stört das von der Röhre ausgehende Fluorescenzlicht, so hängt man über dieselbe ein dunkles Seidentuch und achtet darauf, daß die Zuführungsdrähte hinreichend weit voneinander entfernt bleiben. Sehr vorteilhaft ist eine verschiebbare Stockklemme von isolierendem Material, welche die Hochspannungskabel auseinanderhält (siehe Abbildung 104 nach Kohl).

Treten Körper zwischen Röhre und Leuchtschirm, so schwächen sie die Wirkung der Röntgenstrahlen mehr oder minder ab, je nach ihrer Durchlässigkeit; es entstehen auf der leuchtenden Fläche Schattenbilder des Gegenstandes, die um so schärfer werden, je weiter die Röhre vom Schirm entfernt und je näher das Objekt dem Schirm ist. Röhren, die gar keine scharfen Bilder geben, sind falsch konstruiert (vergl. Seite 103) oder befinden sich in zu großer Nähe des Induktors, so daß die magnetisch ablenkbaren Kathodenstrahlen auf der Antikathode hin- und herwandern.[1])

[1]) Ein Sicherheitsabstand von 2 bis 3 m genügt vollkommen.

An der Beobachtung des Schattenwurfes einer Hand sollen weiterhin die charakteristischen Eigenschaften der Röntgenstrahlen

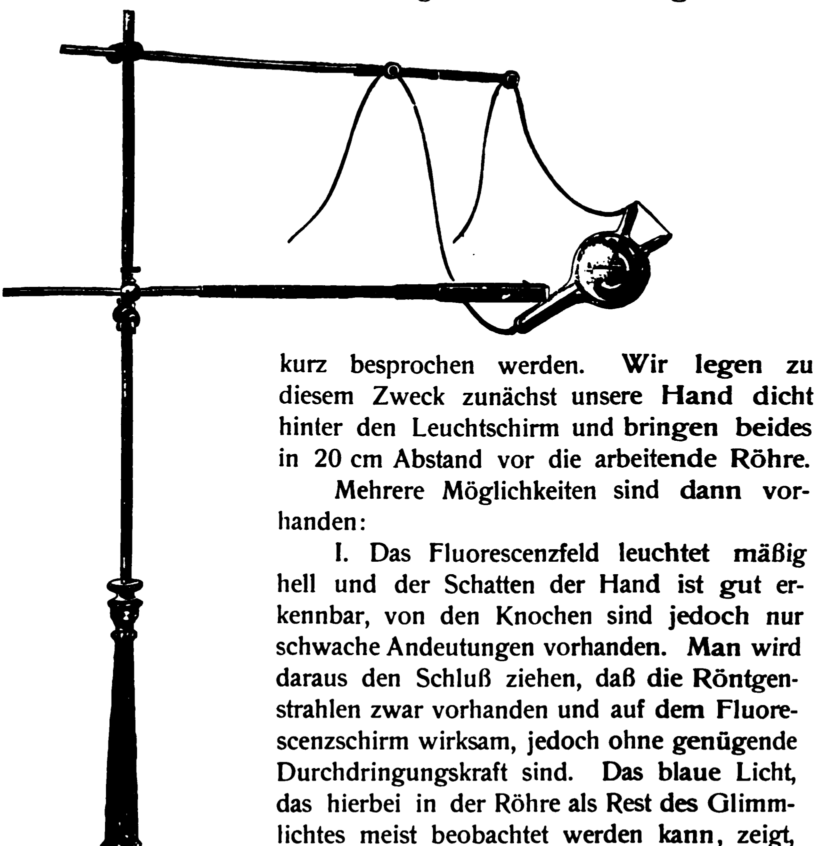


Fig. 104. Fußbodenstativ für Röntgenröhren.

kurz besprochen werden. Wir legen zu diesem Zweck zunächst unsere Hand dicht hinter den Leuchtschirm und bringen beides in 20 cm Abstand vor die arbeitende Röhre.

Mehrere Möglichkeiten sind dann vorhanden:

I. Das Fluorescenzfeld leuchtet mäßig hell und der Schatten der Hand ist gut erkennbar, von den Knochen sind jedoch nur schwache Andeutungen vorhanden. Man wird daraus den Schluß ziehen, daß die Röntgenstrahlen zwar vorhanden und auf dem Fluorescenzschirm wirksam, jedoch ohne genügende Durchdringungskraft sind. Das blaue Licht, das hierbei in der Röhre als Rest des Glimmlichtes meist beobachtet werden kann, zeigt, daß die Röhre relativ viel Luft enthält, oder wie man sagt, „zu weich" ist. Vergl. die Abbildung I auf der Tafel I. Man härtet dann nach der Vorschrift auf Seite 106.

II. Die Intensität der Fluorescenz hat bedeutend zugenommen. Jetzt wird auch das Fleisch der Hand durchstrahlt, so daß die Schatten der Knochen kontrastreich hervortreten. Bei ruhigem Fluorescenzfeld zeigt sich selbst die Struktur der Knochen. Deutlich treten die Handwurzelknochen, Elle und Speiche, Ellenbogengelenk und schließlich auch der Oberarmknochen hervor. In diesem Zu-

stand ist die Röhre sowohl photographisch am wirksamsten, als auch für die direkte Beobachtung schwacher und mittelstarker Teile hervorragend geeignet. Vergl. Abbildung II und III auf der Tafel I.

III. Wird die Röhre „härter", so erhält sie allerdings die Fähigkeit, immer stärkere Körperteile zu durchstrahlen, aber die Kontraste zwischen Fleisch und Knochen gehen verloren. Dabei wird das Fluorescenzfeld etwas dunkler, so daß schon aus diesem Grunde die direkte Beobachtung stärkerer Teile, z. B. des Beckens, großen Schwierigkeiten begegnet (vergl. die Abbildung IV auf der Tafel I). Hier zeigt auch heute noch die photographische Aufnahme ihre volle Überlegenheit.

Offenbar gibt es also keine für alle Zwecke gleich gut geeignete Röhre, und der Anfänger wird, wenn er mehr als mittelmäßige Erfolge erzielen will, Mühe genug haben, seine Apparate zu beherrschen und für jeden besonderen Fall geeignet auszunutzen. Vor allem muß er sie dazu von Grund aus verstehen; mit Regeln und Vorschriften, die doch nicht für alle Vorkommnisse ausreichen, ist ihm wenig und nur für das Gröbste gedient. Nur ein Geübter kann mit einer

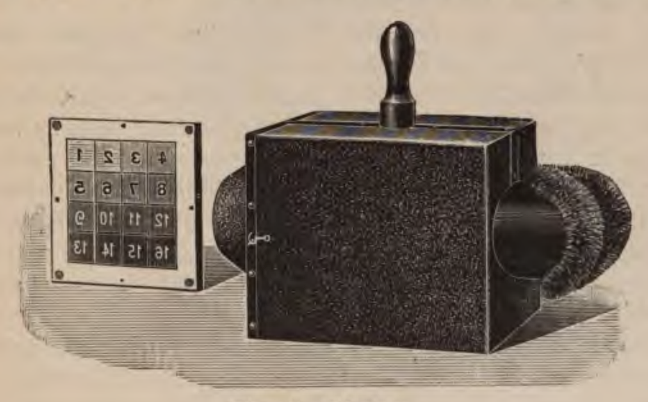


Fig. 105. Skiameter.

einzigen Röhre viel ausrichten. Er wird sie für jeden Körperteil besonders härten, geeignet aufstellen, passend mit Strom belasten und vor allen Dingen niemals von ihr verlangen, was sie nicht zu leisten vermag.

Man hat Apparate konstruiert, die ein Urteil über die jeweilige Leistungsfähigkeit der Röhre erleichtern sollen und in der Hand des Geübteren ohne Zweifel auch einen bedingten Wert haben mögen. Der Anfänger wird durch sie meist mehr verwirrt als unterstützt.

Diese als „Skiameter", Aktinometer u. s. w. in den Handel gebrachten Instrumente beruhen auf folgendem Prinzip (Fig. 105 nach Kohl-Chemnitz).

Zwischen Fluorescenzschirm und Röhre, und zwar dicht an ersterem anliegend, befindet sich eine Skala aus Stanniolblättchen, die stufenweise übereinander liegen, so daß der Reihenfolge nach jedes folgende der sich bildenden kleinen Quadrate ein Stanniolblättchen mehr als das vorhergehende in Übereinanderlage enthält. Jedem der Quadrate ist eine Zahl aus Blei aufgefügt, derart, daß das erste freibleibende die Zahl *1* und das letzte, aus 15 übereinander gelegten Blättchen bestehende, die Zahl *16* trägt. Die Zahlen erscheinen im Schattenbilde auf dem Leuchtschirme schwarz auf erhelltem Untergrund und zwar eine um so längere Reihe derselben, je größer die Durchstrahlungskraft der Röhre ist.

Zur sicheren Benutzung des Instrumentes, das die Stanniolskala zusammen mit einem kleinen Leuchtschirm in einem Kästchen vereinigt enthält, gehört einige Übung. Um einen festen Abstand von der Röhre zu sichern, hat das Kästchen an seinem einen Ende einen Tubus, der gegen die Röhre gedrückt wird.

Es versteht sich, daß das Skiameter nur ein Urteil über die Durchdringungskraft der Strahlen erlaubt, über die spezifischen Eigenschaften derselben, also über die Kontrastwirkungen, welche sie hervorbringen, sagt es nichts aus. Und gerade darauf kommt es meist an. Es kann z. B. eine Röhre im Skiameter eine sehr hohe Zahl zeigen und trotzdem für Durchleuchtung und Photographie unbrauchbar sein; auch kann es vorkommen, daß eine Röhre von hoher Durchdringungskraft eine verhältnismäßig niedrige Zahl sichtbar macht, da, wie wir gesehen haben, die Leuchtwirkung des Fluorescenzschirmes mit dem Härterwerden der Röhre zurückgeht.

Auf wissenschaftlicherer Grundlage beruht das von Benoist[1]) angegebene, später durch Walter[2]) verbesserte Radiometer. Es ist auch genauer, da es gestattet, die Intensität zweier Felder miteinander zu vergleichen. Das Prinzip des Radiometers ist folgendes:

Benoist fand, daß dünnes Silberblech weichen wie harten Röntgenstrahlen gegenüber fast gleich durchlässig ist, während Aluminiumblech um so dicker sein muß, je härter die Strahlen sind, die es absorbieren soll. Er ordnet daher in seinem Radiometer vor einem Leuchtschirm eine Scheibe aus dünnem Silberblech an und ringsherum,

[1]) Benoist, Co[illegible]

[2]) B. Wal[illegible] [illegible] 1902.

Aluminiumplättchen von verschiedener Dicke. Bei jeder Röhre wird sich ein Plättchen ausfindig machen lassen, unter dem der Schirm gerade so hell leuchtet wie im Mittelfeld. Je größer die Dicke dieses Plättchens ist, desto größer ist auch die Durchdringungskraft der Röntgenstrahlen. Ein derartiges Instrument hat den großen Vorzug, daß es die Härte der Strahlen wirklich zu messen gestattet und von der Röhrenentfernung in seinen Angaben unabhängig ist. Nachteilig wirkt der Umstand, daß die in gleichmäßiger Stufenfolge einander folgenden Aluminiumplatten sich bei größerer Schichtendicke in ihrem Schattenwurf nicht mehr genügend voneinander differentiieren. Walter vermeidet den Übelstand, indem er die Dicken der Plättchen in arithmetischer Reihe zweiter Ordnung ansteigen läßt, auch zieht er es vor, Silberblech und Aluminiumtreppe streifenförmig nebeneinander anzuordnen. Fig. 106 zeigt das nach seinen Angaben von Reiniger, Gebbert & Schall in Erlangen gebaute Kryptoradiometer. Kryptoradiometer, weil es, ähnlich den später zu besprechenden Kryptoskopen, mit einer Vorrichtung zum Abblenden fremder Lichtstrahlen ausgerüstet ist.

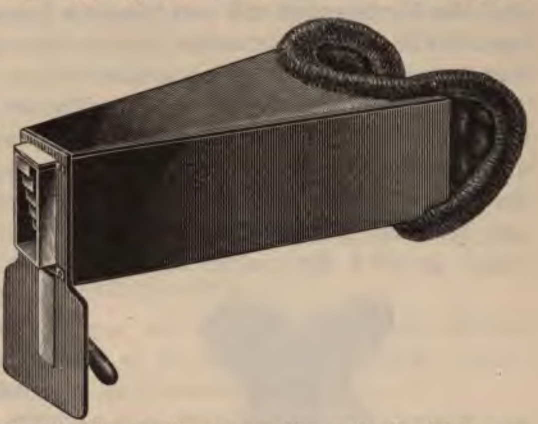


Fig. 106. Kryptoradiometer zum Messen der Durchdringungskraft der Röntgenstrahlen nach Benoist-Walter.

Wehnelt hat neuerdings mit Recht darauf hingewiesen, daß die Erscheinung sämtlicher Stufen in demselben Gesichtsfeld die Beurteilung stört.

Er schlägt daher vor, statt der Aluminiumtreppe einen Keil von logarithmischer Schweifung, etwa 20 cm lang und 1 cm stark an der Basis zu nehmen und ihn neben einem Silberblech quer vor einem Spalt zu verschieben. Es läßt sich dann leicht die Stellung finden, bei der das schmale Feld in beiden Hälften gleichmäßig erleuchtet ist. Die mittlere Dicke des Keiles zwischen den Spalträndern ist dann als Maß für die Durchdringungskraft der Röntgenstrahlen anzusehen.

lich kann man auch Keil und Silberstreifen nebeneinander

auf einer photographischen Platte durchstrahlen und den Abstand vom Keilende bis zur Stelle gleicher Schwärzung der Platte zur Beurteilung verwenden.

Am Ende sind auch die Radiometer, trotz ihres wissenschaftlichen Anstriches, für den Praktiker zu entbehren. Für ihn genügt die Beurteilung des Strahlencharakters am Leuchtschirm unter Benutzung des Schattenwurfes seiner Hand vollkommen.

Von störendstem Einfluß bei allen Beobachtungen ist das Fluorescenzlicht auf dem Schirm außerhalb des Schattenbildes, zumal bei kleineren Objekten. Man verwendet dann mit Vorteil eine Kollektion von Pappblenden mit verschiedenen Ausschnitten, die zur jeweiligen Größe des beobachteten Gegenstandes ausgesucht und auf die fluorescierende Schicht gelegt werden.

Für alle Untersuchungen muß das Zimmer möglichst vollkommen verdunkelt werden können, doch kann man sich, um diese Unbequemlichkeit zu umgehen, auch eines lichtdichten Tuches bedienen, das man rings am Rande des Leuchtschirms mit Reißnägeln befestigt und über den Kopf nimmt. Hat man ein verstellbares Stativ zur Hand, so wird der Leuchtschirm vorteilhaft an ihm in passender Höhe befestigt.



Fig. 107. Kryptoskop.

Ein recht bequemes Instrument, das in gleicher Weise die Beobachtung auch bei Licht erlaubt, wird als „Kryptoskop“ oder „Fluoroskop“ vielfach verkauft. Es ist nichts anderes als ein Leuchtschirm, von dem durch einen passend gestalteten Papptrichter fremde Lichtstrahlen abgehalten werden (Fig. 107). Die Papphülse verjüngt sich zu einem Eingucklochе, das zum dichten Abschluß mit Chenille umfüttert ist. Ein seitlicher Griff dient zur Handhabe. Beim Gebrauch des Instrumentes überzeuge man sich durch öfteres Aufschauen, ob sich in der Stellung vom Objekt zur Röhre nichts geändert hat.

Bei Durchleuchtung größerer runder Körper ist die starre Form des Schirmes, wegen der Verzerrung und Undeutlichkeit der Schatten, nach dem Rande zu ungünstig. Man fertigt daher vielfach flexible

Schirme ohne Rahmen an, die dem jeweilig zu untersuchenden Körperteil eng angeschmiegt werden können.

Wie überall, so ist auch bei der Radioskopie viel Übungssache; nicht jeder wird gleich im Anfange imstande sein, die Bewegung des Herzens zu erkennen, oder den Schatten der Staubgefäße einer geschlossenen Blüte zu sehen. Der Anfänger versäume daher niemals, sich über die Ursache jeder noch so feinen Schattennuance Rechenschaft zu geben und sich selbst Aufgaben zu stellen, wo immer er Gelegenheit dazu hat. Man lege z. B. zwei verschieden große Münzen zwischen verschiedene Seiten in ein Buch und versuche durch Hin- und Herdrehen und am Schattenwurf zu erkennen, welche von beiden die dem Schirm nähere ist; vielleicht kann man auch etwas über die ungefähre Entfernung beider voneinander angeben. Oder man lasse verschiedene Gegenstände in einer Kiste verbergen und bestimme Art, Lage, Form und womöglich auch Material derselben; man bemühe sich durch Betrachtung des Schattens eines Körperteiles bei verschiedenen Stellungen ein Urteil über die wahre Gestalt zu bilden; man zähle die Herzschläge u. s. w.

Meßmethoden.

Die Lage der Fremdkörper ist ebenso schwer mit absoluter Genauigkeit zu bestimmen, als es im allgemeinen leicht ist, die Anwesenheit von Fremdkörpern nachzuweisen.

Man ist daher bemüht gewesen, Meßinstrumente zu konstruieren, die der Schätzung zu Hilfe kommen sollen und hat im Laufe der Jahre eine Kunst der Messung für die Röntgenpraxis ausgebildet, die man vielleicht mit dem Schlagworte Radiometrie bezeichnen könnte. Im folgenden sollen die hauptsächlichsten Methoden und Hilfsmittel der Radiometrie eingehender erläutert werden.

Das Meßstativ von Dr. A. Hoffmann (konstruiert von Kohl-Chemnitz) besteht aus einem hohen festen Rahmen, in dem sich ein kleinerer quadratischer Rahmen schlittenartig der Höhe nach verschieben läßt (Fig. 108 und Fig. 109). Letzterer trägt an seinen Leisten Skalen von Metall, über die wechselseitig mit Drähten verbundene Schieber laufen. An dem Stativrahmen sind mit Scharnieren ein Leuchtschirm und eine photographische Kassette befestigt, die vor das bewegliche Drahtsystem geklappt werden können. Tritt eine Person zwischen Röhre und Rahmen, so projizieren sich zugleich mit den Organen auch die Drähte, und es ist leicht, letztere auf die Umrisse des Schattens einzustellen. Die Maße werden an der Skala abgelesen. Das Instrument kann dazu dienen, vergleichende Messungen des

Schattenwurfes eines und desselben Organs zu verschiedenen Zeiten anzustellen, vorausgesetzt, daß die Anordnung jedesmal die gleiche ist. Aber auch nur des Schattens. Über die wahre Größe des

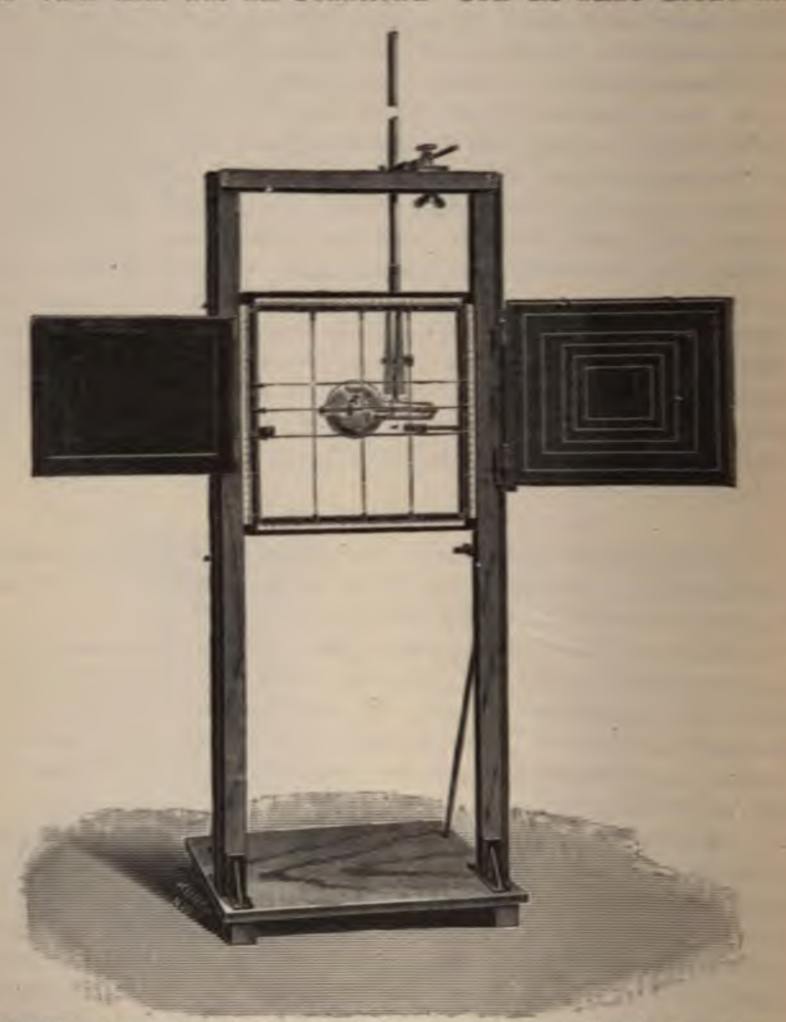


Fig. 108. Hoffmannsches Meßstativ zur Bestimmung der Schattengröße (Vorderansicht).

Objektes sagt es nichts aus. Denn der Schattenwurf wird stets größer sein als das Objekt und zudem verzerrt erscheinen je nach der Stellung der Röhre, des Objektes und des Beobachtungsschirmes.

Auch die scheinbare Lage der Körperteile verändert sich. Betrachtet man zum Beispiel den Gegenstand K auf dem Leuchtschirm bei dem Röhrenort X_1 (Fig. 110), so wird derselbe zwischen den

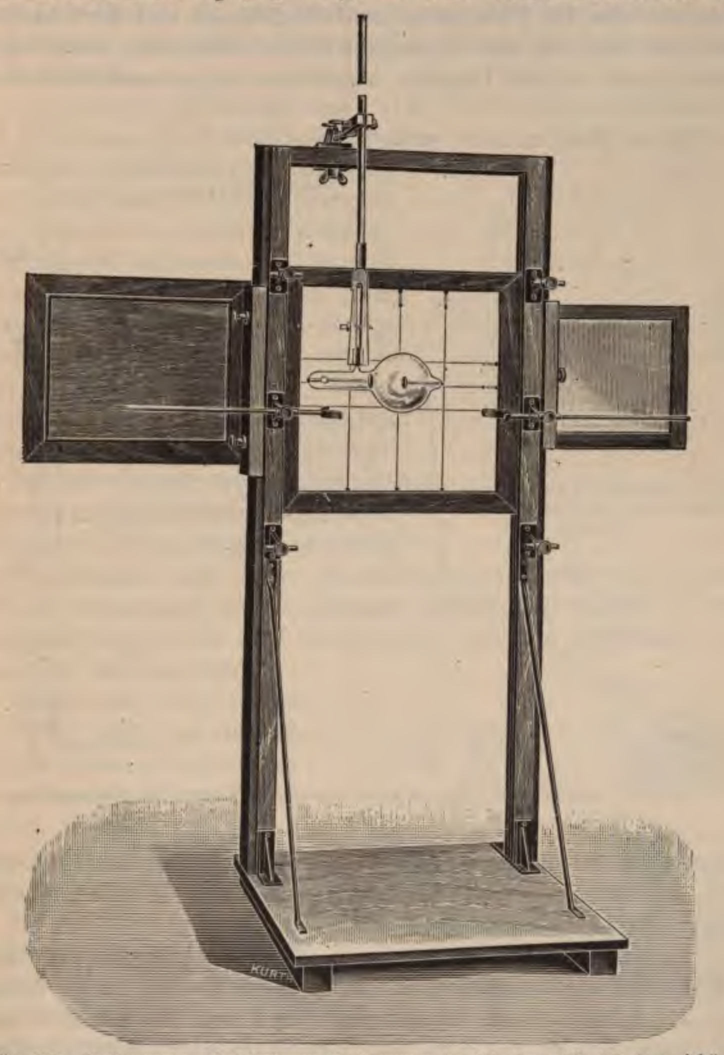


Fig. 109. Hoffmansches Meßstativ zur Bestimmung der Schattengröße (Hinteransicht).

Schatten a^1 und b^1 erscheinen, die den vor K liegenden Körpern a und b angehören. Bei dem Röhrenstand X_2 dagegen erscheint der Schatten K^2 zwischen den von den Körpern c und d herrührenden

Schattenbildern c^1 und d^1. Die Röhrenstellung X_1 läßt also den Gegenstand K zwischen a und b, die Röhrenstellung B zwischen c und d vermuten, während er in Wirklichkeit zwischen b und c liegt. Vollends über die Entfernung des Fremdkörpers von der Oberfläche oder von den vor ihm liegenden Körpern bleibt man, ohne Zuhilfenahme einer aus der Parallaxe abgeleiteten trigonometrischen Rech-

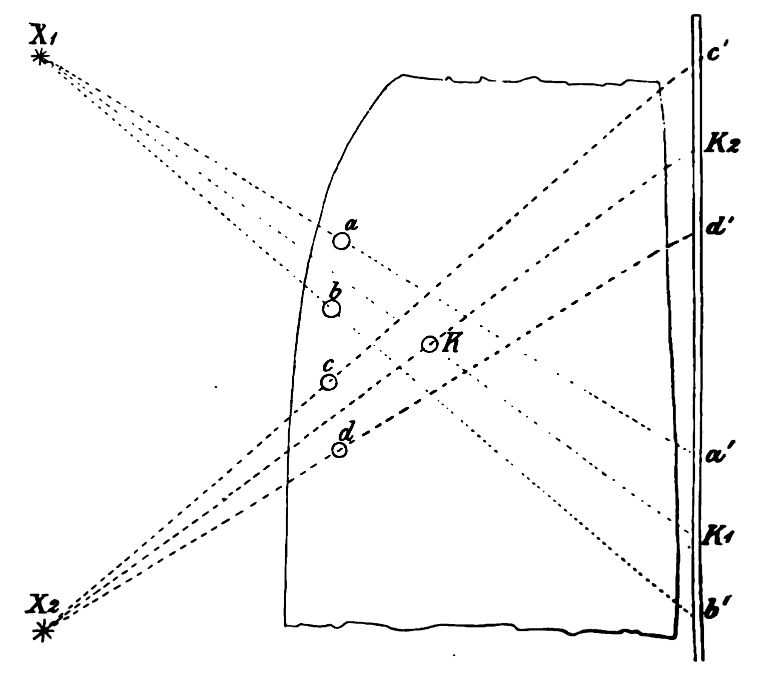


Fig. 110. Verschiedene Projektion eines Objektes bei veränderter Röhrenstellung.

nung, ganz im unklaren, wenn man nicht die mit der Entfernung vom Leuchtschirm zunehmende Unschärfe der Objekte zu einem ungefähren Urteil heranziehen will.

Es liegt in der Tat nahe, die Tiefe des Fremdkörpers durch den Schattenwurf eines Vergleichskörpers zu finden, dessen Abstand von dem Leuchtschirm man beliebig ändern kann und dessen Schatten auf gleiche Schärfe mit dem des zu bestimmenden Objektes gebracht wird. Aber abgesehen davon, daß der Vergleichskörper zum mindesten doch aus entsprechendem Material bestehen müßte, befindet sich auch das freie Vergleichsobjekt unter wesentlich anderen Beleuchtungsverhältnissen und kann nur unter Berücksichtigung dieser

mit dem Fremdkörper verglichen werden. Dazu gehört freilich viel Übung.

Einfacher und sicherer ist schon die Methode der Berechnung durch Koordinaten; sie setzt freilich voraus, daß es möglich ist, den zu untersuchenden Körper nach zwei aufeinander senkrechten Achsen zu beobachten.

Ergibt z. B. die Beobachtung I (Fig. 111) auf dem Leuchtschirm eine Entfernung des Fremdkörperschattens von der Außenkontur des Untersuchungsobjektes von *a mm*, eine zweite zu ihr senkrecht ausgeführte (II) einen Abstand von *b mm*, so läßt sich, wenn wir die Vorderseite des Objektes betrachten, der Fremdkörper in einer Entfernung von *a mm* vom linken Schattenrand und von hier aus in einer Tiefe von *b mm* suchen. Natürlich ist seine Lage nur angenähert bestimmt, da die Schattenprojektion für alle Teile des Objektes niemals zugleich senkrecht auf dem Beobachtungsschirm stehen kann. Eine ziemlich umständliche Korrektion muß daher besonders bei Objekten mit unregelmäßiger Begrenzung stets angebracht werden. Trotzdem ist aber die Betrachtung nach zwei aufeinander normalen Richtungen ein gutes Orientierungsmittel.

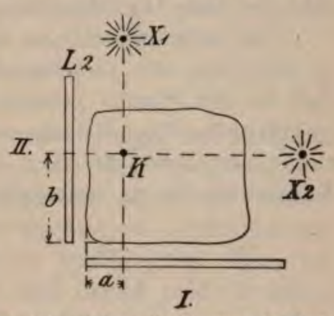


Fig. 111. Einfache Bestimmung der Lage eines Fremdkörpers nach rechtwinkligen Koordinaten.

Hierfür ein einfaches Beispiel: Ein Glied des menschlichen Körpers, z. B. der Unterarm, möge einen kleinen Fremdkörper, vielleicht ein Schrotkorn, enthalten, dessen genaue Lage festzustellen ist.

Man projiziert den Arm zunächst in der Richtung der beiden Unterarmknochen (Fig. 112) beispielsweise so, daß der Daumen der flachen Hand nach dem Fluorescenzschirm zeigt. Der Schatten des Fremdkörpers möge sich dann unterhalb der vereinigten Knochenschatten zeigen. Man weiß nun jedenfalls, daß der Körper nach der Handflächen-

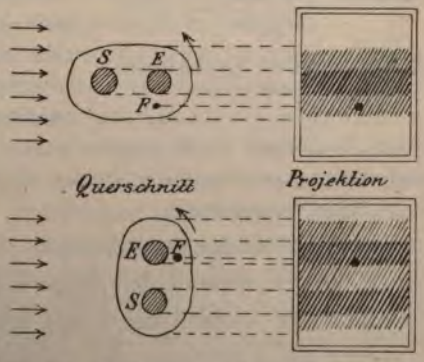


Fig. 112. Bestimmung nach zwei rechtwinkligen Koordinaten.

seite zu liegen wird. Um seine Lage fest zu bestimmen, wird der Arm langsam um 90° gedreht, so daß der Daumen nach oben gerichtet ist. Während sich die Schatten der Elle und Speiche voneinander trennen, bewegt sich das Schattenbild des Fremdkörpers nach oben und deckt sich schließlich mit der Speiche. Hierdurch wird seine Lage eindeutig bestimmt; er muß von der Handflächenseite aus betrachtet zwischen Haut und Speiche liegen. Über die Tiefe, bis zu welcher der Fremdkörper eingedrungen ist, gibt die erste Durchleuchtung genügenden Aufschluß.

Ein recht brauchbares Instrument besitzt die Schattenmeßkunde in dem von der Gesellschaft Voltohm-Frankfurt a. M. vor einiger Zeit in den Handel gebrachten, Dr. Rosenthalschen „Punktographen". Das Prinzip ist ein sehr einfaches. Zwei Metallringe, von denen der eine auf die Röhrenseite, der andere auf die Schirmseite des zu untersuchenden Körpers aufgelegt wird (Fig. 113), werden so lange verschoben, bis sich ihre Schattenbilder auf dem Fluorescenzschirme decken. Es wird leicht sein, sie so zu dirigieren, daß auch der Schatten eines Fremdkörpers *K* innerhalb der Ringe erscheint. Die Stellungen der Ringe werden dann auf der Haut markiert *(1,2)*. Verschiebt man die Röhre um eine beliebige Strecke, so läßt sich der Körper abermals in die Ringe fassen, man erhält zwei neue Marken *(3, 4)*, und es ist sofort klar, daß der gesuchte Körper auf dem Schnittpunkte der Verbindungslinien *1—2* und *3—4* liegen muß. Hieraus läßt sich leicht seine Entfernung von einer der beiden Objektflächen aus einer einfachen Proportion berechnen.

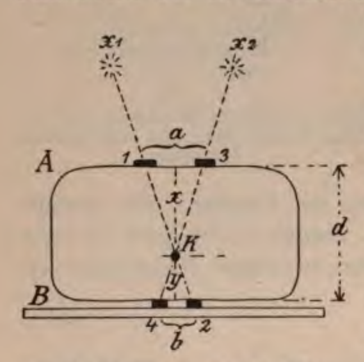


Fig. 113. Bestimmung mit dem Punktographen.

Ist d die Dicke des Objektes,

a der Abstand der Ringe auf der Fläche A,

b der Abstand der Ringe auf der Fläche B,

x die Entfernung des Fremdkörpers von der Fläche A,

y die Entfernung des Fremdkörpers von der Fläche B,

so ist zunächst

$$\frac{a}{x} = \frac{b}{d-x} \text{ und } \frac{b}{y} = \frac{a}{d-y}$$

woraus folgt:

$$x = \frac{a \cdot d}{a + b} \text{ und } y = \frac{b \cdot d}{a + b}$$

Beispiel: Die Dicke des Untersuchungsobjektes betrage d=20 cm; es wird gemessen $a = 30$ cm, $b = 10$ cm, so ist die Entfernung des Fremdkörpers von der Fläche A

$$x = \frac{30 \cdot 20}{30 + 10} = 15 \text{ cm};$$

von der Fläche B

$$y = \frac{10 \cdot 20}{30 + 10} = 5 \text{ cm}.$$

Der „Punktograph" besteht aus einem langgestreckten Holzgriff, der an seinem breiteren Ende — im Holz eingelassen — einen metallenen Ring trägt. Durch die Mitte des Ringes schlägt ein kurzer Tintenstift, dessen Feder an einem Griff zurückgezogen werden kann. Zum Gebrauch wird ein Punktograph vorn, ein anderer hinten an das Objekt angelegt und darauf beide so lange verschoben, bis sich die Ringe mit dem Fremdkörper zu decken scheinen. Ein Druck auf den Knopf löst die Federn aus, die Stifte schlagen herunter und hinterlassen auf der Haut vorn und hinten je eine Marke. Dieselbe Manipulation wird darauf noch einmal bei veränderter Stellung des Körpers zur Röhre wiederholt.

Die mitgeteilten Formeln gelten genau natürlich nur für den Fall vollkommener Parallelität der Flächen A und B; praktisch kommt eine kleine Abweichung jedoch nicht in Betracht.

Wer sich aber auch vor der kleinsten Formel fürchtet und lieber umständliche und weitläufige Operationen vornimmt, als zwei Zahlen zusammenaddiert, mag sich des Mackenzie-Davidsonschen Apparates zum Lokalisieren von Fremdkörpern bedienen. Sein Prinzip ist folgendes: Es werden von derselben Körperstelle zwei verschiedene photographische Aufnahmen angefertigt unter Verschiebung der Röntgenröhre um einen gemessenen Betrag. Auf der Platte, bezüglich auf den beiden Aufnahmen, läßt sich dann die Entfernung bestimmen, um welche der Fremdkörper unter dem Einfluß der bekannten Röhrenbewegung zur Seite gerückt ist. Außerdem ist der Abstand der Röhre von den Platten bekannt. Diese Daten genügen vollkommen, um von jedermann nach den vorstehend gegebenen Formeln den Ort des Fremdkörpers berechnen zu lassen. Um jedoch die Zahlen ganz auszuschalten und so der Methode angeblich einen besonderen Vorzug zu geben,

bauen Mackenzie-Davidson den Gang der Röntgenstrahlen auf einem besonderen Meßtische mit Hilfe von Fäden und unter Benutzung der photographischen Aufnahmen wiederum auf. (Fig. 114 nach Reiniger, Gebbert & Schall.) Selbstverständlich wird durch die Kreuzungsstelle der Fäden die Lage des Fremdkörpers markiert.

Die bisher besprochenen Methoden gestatten nur vergleichende Messungen der Schattenbilder oder die Bestimmung der Lage eines Körpers innerhalb eines anderen, über die „wirkliche Größe" derselben, sowie über die „wahre Entfernung" zweier verborgener Körper voneinander erhält man durch sie keinen Aufschluß. Gerade letztere zu wissen, ist für viele Fälle jedoch von großem Wert.



Fig. 114. Mackenzie-Davidsohnscher Meßtisch zur Bestimmung von Fremdkörpern.

Eine von Donath konstruierte, von Ernecke-Berlin gebaute Vorrichtung versucht dem Mangel abzuhelfen. Sie beruht auf dem Gedanken, die Strahlen dort, wo sie zur Beobachtung dienen, stets senkrecht auf den Fluoreszensschirm fallen zu lassen, so daß mit dem Schatten zugleich die wahre Größe des Objektes gemessen wird.[1])

Zu dem Zwecke ist die Röntgenröhre über einer in Millimeter geteilten Skala (Fig. 115) verschiebbar angeordnet. Fest verbunden mit der Röhre X gleitet ein Indexschieber über die Skala und läßt den Röhrenort ablesen. Am Röhrenhalter ist ein leichter aber fester Metallbügel befestigt, welcher der Röhre gegenüber einen Leuchtschirm L_1 trägt. Nach Lösen einer Schraube läßt sich der Schirm der Röhre mehr oder weniger nähern. Er ist

---

[1]) Vgl. auch Rosenfeld, die Diagnostik innerer Krankheiten mittels Röntgenstrahlen. 1897.

Payne, Arch. of the Röntgen Ray, Vol. II. No. 3/4 p. 77.

Dorn, „Zur Untersuchung der Brust mittels Röntgenstrahlen" iz. Gesellsch. 28. März 1900.

mit einer Metallmarke versehen, die so justiert wird, daß die Verbindungslinie zwischen ihr und der Antikathode bezügl. dem Röhrenindex stets senkrecht auf der Skala steht. Zwischen Röhre und Schirm, welch letzterer sich zugleich mit der Röhre bewegt, wird das zu untersuchende Objekt gebracht. Fig. 116 zeigt die Ansicht des Meßstativs, Fig. 117 den Leuchtschirm mit verschiebbarer Marke.

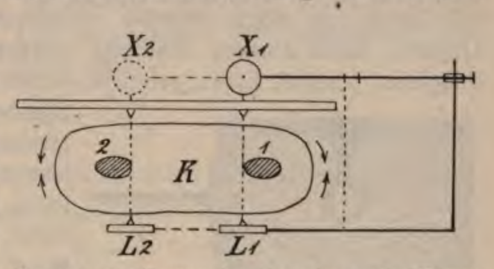


Fig. 115. Bestimmung des Abstandes zweier Körper bezgl. der wahren Größe eines Körpers.

I. Handelt es sich darum, die wahre Entfernung zweier in einem Körper *K* befindlicher Knochen voneinander zu messen, so wird die Röhre verschoben, bis sich auf dem Beobachtungsschirm die Marke mit dem inneren Rande des Knochens *1* deckt (Fig. 115). Auf der Skala wird diese Anfangsstellung durch einen Laufschieber markiert und dann werden Röhre und Schirm in der Richtung des Pfeiles weitergeschoben, bis die Schirmmarke mit der Kontur des Knochens *2* zusammenfällt. Die Differenz der Ablesungen auf der Skala ergibt dann ohne weitere Rechnung die wahre Entfernung der Knochen voneinander.

Soll die Größe eines Körpers gemessen werden, so


Fig. 116. Donathsches Meßstativ.

wird auf den rechten und linken Rand desselben eingestellt. Um die Messungen nach allen Seiten hin vornehmen zu können, lassen sich Skala und Bügel beliebig verstellen. Wesentlich ist, daß die Objekte, deren Distanz bestimmt werden soll, in eine zur Skala möglichst parallele Ebene gebracht werden. Ist dieselbe nicht genau bekannt, so macht man mehrere Messungen, indem man das Objekt in der Richtung der kleinen Pfeile (Fig. 115) hin- und herdreht. Der größte erhaltene Wert der Zahlenreihe ist dann der wahrscheinlichste. In allen Fällen erspart eine vorangehende Orientierung mit dem Fluorescenzschirm Zeit.



Fig. 117. Leuchtschirm mit beweglichem Index.

Es braucht nicht erst erwähnt zu werden, daß der Index auf dem Leuchtschirm unter allen Umständen angibt, unter welchem Punkt der Oberfläche — senkrecht zum Leuchtschirm — der Fremdkörper zu suchen ist.

II. Zur Bestimmung des Tiefensitzes eines Körpers kann das Meßstativ ebenfalls dienen, und zwar unter Zugrundelegung

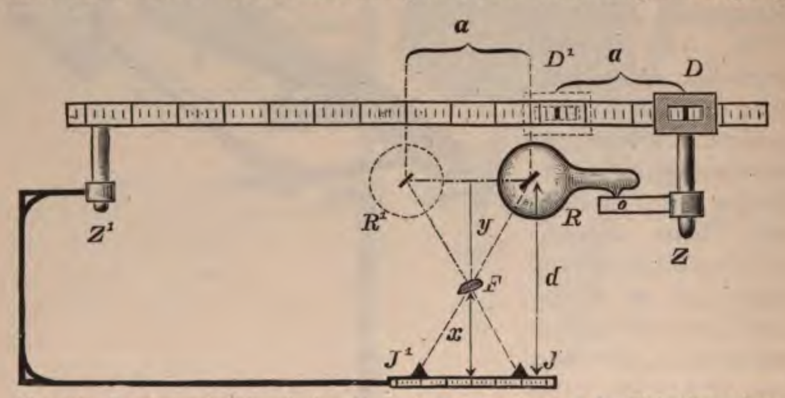


Fig. 118. Benutzung des Donathschen Meßstativs zur Bestimmung des Tiefensitzes eines Körpers.

der bereits auf Seite 157 gegebenen Formeln folgendermaßen. Man befestigt zunächst den Bügel mit dem Schirm an dem Zapfen Z_1 der Skala (Fig. 118), so daß die Röhre unabhängig vom Leuchtschirm beweglich wird.

Die Stellung der Röhre wird bei D auf der Skala angemerkt und ebenso diejenige des Fremdkörperschattens J_1 mittels des be-

weglichen Index auf der Einteilung des Leuchtschirmes. Darauf wird die Röhre nach R_1 verschoben und man erhält zwei neue Marken bei D^1 und J. Da der Abstand der Antikathode vom Leuchtschirm bekannt ist, ergibt sich

$$x = \frac{b \cdot d}{a + b}$$

wenn b die Verschiebung des Index auf dem Leuchtschirm ist.

Beispiel: $\left.\begin{array}{lll} a & \text{gemessen} & = 16 \text{ cm} \\ b & \text{„} & = 8 \text{ „} \\ d & \text{„} & = 24 \text{ „} \end{array}\right\} x = \frac{8 \cdot 16}{32} = 4 \text{ cm.}$

Dabei wird vorausgesetzt, daß der zu untersuchende Körper dem Leuchtschirm anliegt. Ist dies nicht der Fall, so ist der Abstand, gemessen in cm, von dem Resultat abzuziehen.

Ist auf diese Weise die Tiefe des Körpers bestimmt, dann wird nach I festgestellt, unter welcher Stelle senkrecht der Körper zu suchen ist.

III. Soll die Entfernung zweier, hintereinander liegender Körper bestimmt werden, so muß man für jeden von ihnen eine Tiefenbestimmung nach II ausführen. Beide Resultate, voneinander abgezogen, ergeben die wahre Entfernung der Körper voneinander.

Die Instrumente werden mit oder ohne Fluorescenzschirm gebaut; in letzterem Falle trägt der Metallbügel nur einen Index und der Schirm wird so vor letzteren gehalten, daß er ihm ohne Berührung möglichst nahe kommt. Bei einiger Übung ist es nicht schwer, leichteren Objekten gegenüber eine Genauigkeit der Messung von 1—2%, bei schwierigeren eine solche von 2—5% zu erzielen.

Nach demselben Prinzip hat später Moritz[1]) in München einen Meßapparat konstruiert, der jedoch vorwiegend dazu bestimmt ist, Umrißzeichnungen der im Schattenwurf gesehenen Gegenstände in natürlicher Größe zu entwerfen. Zeichenvorrichtung und Röntgenröhre sind wiederum fest miteinander verbunden und im übrigen beide zusammen nach zwei horizontal rechtwinkligen Koordinaten verschiebbar. Der Patient wird für die Untersuchung auf einen Tisch gelagert, unter ihm befindet sich die Röntgenröhre, über ihm der Leuchtschirm und die Punktiervorrichtung. Sind genügend viel Punkte des Gegenstandes festgestellt, so kann die Umrißzeichnung

---

[1]) Moritz, Münchener Mediz. Wochenschrift No. 29, 1900.

mit leichter Mühe und verhältnismäßig großer Genauigkeit hergestellt werden. Der Apparat, dessen Abbildung wir in Figur 119 nach der Konstruktion der Voltohm-Gesellschaft bringen, soll sich vorzüglich für die Bestimmung der Herzgröße bewährt haben. Bezüglich der Einzelheiten und der Handhabung des Instrumentes müssen wir auf die Veröffentlichung von Moritz hinweisen.

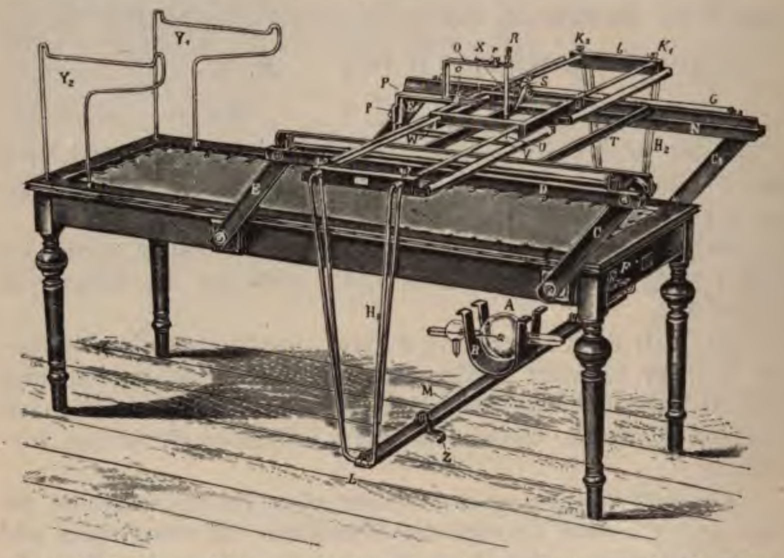


Fig. 119. Punktiervorrichtung von Moritz, insbesondere zur Bestimmung der Herzgröße.

Bestimmung von Körperlagen durch stereoskopische Betrachtung.

Die Idee, stereoskopische Schattenbilder anzufertigen, tauchte unseres Wissens bereits kurze Zeit nach Röntgens Entdeckung auf. Fruchtbar ist die Methode für diagnostische Zwecke jedoch erst durch die Boassche Anordnung zur direkten Betrachtung körperlicher Effekte auf den Leuchtschirm geworden.

Anfangs machte man photographische Aufnahmen für das Stereoskop, und zwar unter Berücksichtigung der Tatsache, daß ein körperlicher Gesamteindruck entsteht, wenn jedem Auge gesondert ein Bild zugeführt wird, das sich von dem anderen nur durch die Richtung, unter der es aufgenommen ist, unterscheidet.

Derartige Bilder sind leicht anzufertigen. Man stellt eine Röntgenröhre mitten über einer photographischen Platte auf, deckt die eine Hälfte der Platte mit einem Bleiblech zu und nimmt auf

der anderen den abzubildenden Gegenstand in seinem Schattenwurf auf (siehe Abschnitt VIII). Darauf verschiebt man den Gegenstand parallel mit sich selbst nach der anderen Plattenhälfte hinüber, verdeckt die erste Hälfte und bestrahlt wiederum. So erhält man zwei Schattenrisse, die voneinander um so mehr verschieden sind, je größer die Verschiebung war und je höher sich einzelne Teile des Gegenstandes über der Platte erhoben. Werden die Kopien der Platte in richtiger Weise nebeneinander geklebt, so zwar, daß das ursprünglich rechte Bild links, das linke rechts zu stehen kommt, so hat man



Fig. 120. Doppelaufnahme zur Erzielung eines stereoskopischen Effektes.

im Stereoskop den Eindruck völliger Plastizität.[1]) Wir haben in Fig. 120 die stereoskopische Aufnahme eines Kästchens mit Inhalt wiedergegeben. Der Leser wird sich nach Schärfe, Verschiebung und Verzerrung des Schattenwurfes auch ohne Stereoskop ein Urteil darüber bilden können, welche Reihenfolge den einzelnen Gegenständen hintereinander zukommt. Im Stereoskop gelingt die Entscheidung meist auf den ersten Blick. Man kann also derartigen Aufnahmen einen gewissen Wert für die Bestimmung der Lage von Fremdkörpern nicht absprechen, wenn man andererseits auch wieder gestehen muß, daß das Verfahren für die Praxis viel zu umständlich ist. Hierzu kommt noch, daß die Aufnahmen in Originalgröße für das Stereoskop in den seltensten Fällen zu verwenden sind, meistens müssen sie erst verkleinert werden, eine zeitraubende Arbeit, der man gern aus dem Wege geht.

[1]) Die Verschiebung darf nicht zu groß sein, da anderenfalls das Auge die beiden Bilder nicht mehr kombinieren kann.

In neuerer Zeit hat sich Walter um die Sache verdient gemacht und sowohl ein Prismen- wie auch ein Linsenstereoskop konstruiert, in denen man die Negative selbst in Originalgröße betrachten kann. Bei dem Linsenstereoskop werden von den Platten durch eine Linse verkleinerte Bilder entworfen, die dann in einem Stereoskop zur Betrachtung kommen. Wahrscheinlich geht bei der Verkleinerung von den Feinheiten des Originals viel verloren. Das Prismenstereoskop haben wir in Figur 121 zur Darstellung gebracht.



Fig. 121. Waltersches Prismen-Stereoskop.

Es läßt sich für jede Plattengröße und jeden Augenabstand einstellen. Gebaut wird das Instrument von Reiniger, Gebbert & Schall in Erlangen.

Das von Boas angegebene Verfahren zur direkten körperlichen Wahrnehmung von Röntgenbildern auf dem Leuchtschirm beruht auf der Anwendung zweier von gesonderten Induktoren alternierend angetriebenen Röntgenröhren *I* und *II* (Fig. 122), die von demselben Gegenstand zwei Schattenbilder nebeneinander auf dem Schirm *L* entwerfen. Wir wählen zur besseren Verdeutlichung der Verhältnisse ein einfaches Objekt: einen metallenen Ring, in dessen Achse, aber dem Beschauer näher als der Ring, sich ein Schlüssel befinden möge. Befände sich der Schlüssel mitten im Ring, so würde er auch auf den beiden Schattenbildern in der Mitte erscheinen, so aber sieht man seinen Schattenwurf naturgemäß im Ringschatten R_1 etwas nach links, im Ringschatten R_2 etwas nach

rechts gerückt. Sind die Gegenstände nahe genug am Schirm, so überdecken die beiden Schattenbilder einander zum Teil. Sie entstehen aber in Wirklichkeit nacheinander, da der Turbinenunterbrecher (A.E.G.) den beiden Induktoren abwechselnd Strom zuschickt. Könnte man dem rechten Auge allein das rechte, dem linken allein das linke Schattenbild zuführen, so müßte ein körperlicher Gesamteindruck entstehen. Dies geschieht mit Hilfe des walzenförmigen Stroboskopes *W*, das, mit der Achse des Unter-

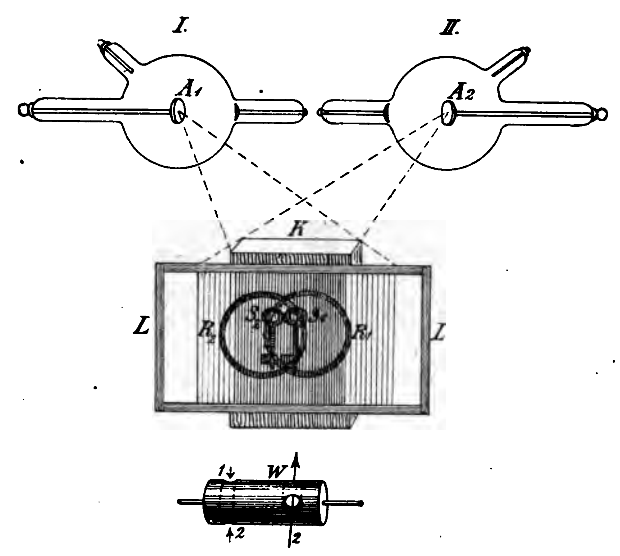


Fig. 122. Boassche Vorrichtung zur Erzeugung eines körperlichen Effektes auf dem Leuchtschirm.

brechers durch eine biegsame Welle gekuppelt, abwechselnd durch zwei zueinander senkrechte Öffnungen 1 und 2 dem rechten oder linken Auge den Ausblick auf den Schirm freiläßt.

Für die Benutzung der Vorrichtung ist zu bemerken, daß das Stroboskop zwar immer mit dem Unterbrecher synchron läuft, unter Umständen aber eine Phasenverschiebung gegen ihn haben kann. Beträgt diese Verschiebung 90°, dann sehen die Augen gerade die falschen Bilder, bei geringerer und größerer dagegen wenig oder gar nichts, da sie allemal den rechten Augenblick verpassen. Für solche Fälle ist eine während des Betriebes mögliche Korrektur vorgesehen.

Der Effekt auf dem Leuchtschirm ist überraschend, der körperliche Eindruck ein vollkommener, er wird nicht einmal durch die

Tatsache beeinträchtigt, daß entgegen der Erfahrung die entfernteren Gegenstände wegen der kegelförmigen Strahlung größer als die

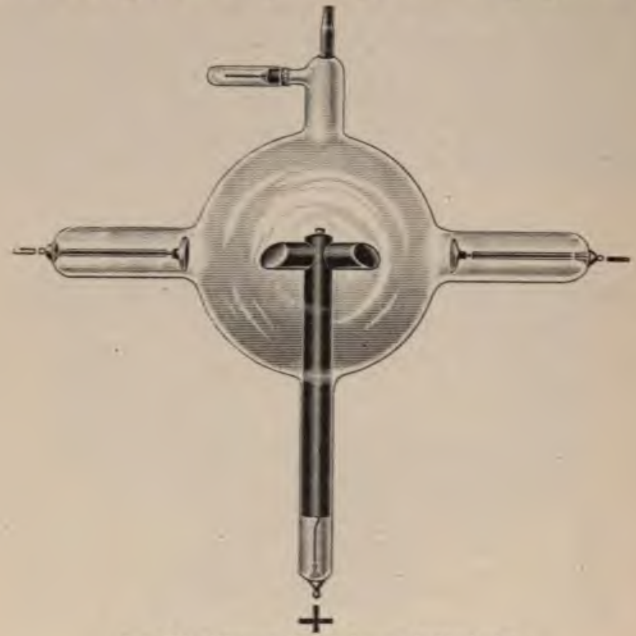


Fig. 123. Röntgenröhre mit zwei Antikathoden.

näheren erscheinen. Nur der hohe Preis einer derartigen Anlage gibt zu Bedenken Anlaß. Ob der immerhin bedingte Wert einer

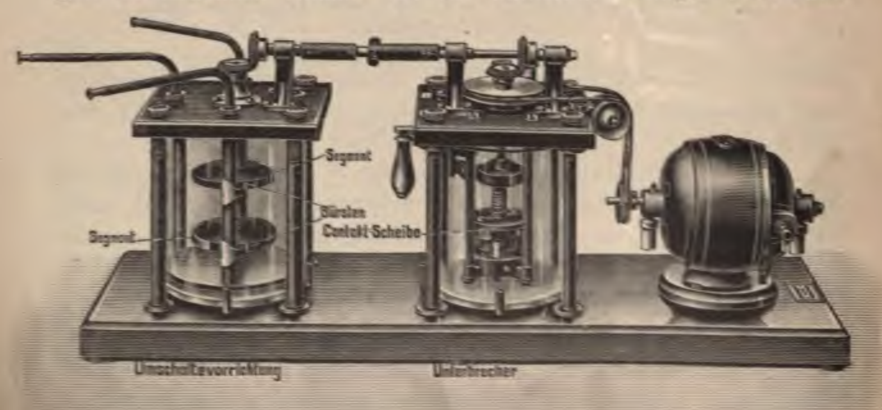


Fig. 124. Waltersche Umschaltevorrichtung zum alternierenden Betriebe einer Zweikathodenröhre mit einem Induktor.

stereoskopischen Betrachtung die Anschaffung zweier teurer Induktoren rechtfertigt, ist doch fraglich. Durch die Verwendung nur einer Röhre mit zwei Kathoden und Antikathoden, wie wir sie in Fig. 123 abbilden, ist noch nicht viel gewonnen.

Da ist denn der Versuch Walters, nur einen Induktor zu verwenden und den hochgespannten Strom durch eine mit dem Unterbrecher gekuppelte Umschaltevorrichtung bald der einen, bald der anderen Kathode zuzuführen (Fig. 124), mit Freude zu begrüßen. Der positive Pol des Induktors liegt an der Anode der Röhre, der negative wird an die Achse des Umschalters geschaltet; von dort findet der Strom über zwei rotierende und um 180° gegeneinander versetzte Halbringsegmente seinen Weg alternierend zu den beiden Kathoden. Daß das Unterbrechergefäß der hohen Stromspannung wegen mit einer auf das vorzüglichste isolierenden Flüssigkeit — etwa Petroleum — angefüllt werden muß, versteht sich von selbst.[1]

[1] Die Umschaltevorrichtung ist durch Reiniger, Gebbert & Schall in Erlangen zu beziehen.

VIII. Abschnitt.

Die Radiographie.

Neben der Radioskopie wird die Radiographie überall da ihren Platz behaupten, wo es von Wichtigkeit ist, das von den Röntgenstrahlen entworfene Schattenbild dauernd zu fixieren, oder wo es sich darum handelt, bei besonders dichten und starken Körpern Abbildungen zu erhalten. Das Auge versagt in solchen Fällen, da es nur begrenzt fähig ist, einander folgende Eindrücke zu summieren. Jeder Lichtstrahl, der, von der Linse konzentriert, auf die Netzhaut fällt, bewirkt allerdings eine Zersetzung des Sehpurpurs, aber dieser wird in jedem Augenblick durch neuen, von der Lebenstätigkeit hervorgebrachten Farbstoff ersetzt. Das eben entstandene Bild verschwindet wieder von der Netzhaut, indem es durch die Funktion des Sehnerven dem Gehirn und dem Bewußtsein übermittelt wird. Anders bei der photographischen Platte. Jeder Lichteindruck, mag er an und für sich auch sehr gering und scheinbar wirkungslos sein, übt doch eine, mit der Belichtungsdauer wachsende, chemische Zersetzung auf sie aus und führt schließlich zu einem sichtbaren Endresultat als Summe aus sämtlichen Momentaneindrücken.

Die moderne photographische Platte ist die „Trockenplatte“, so genannt im Gegensatz zur nassen Platte der früheren photographischen Technik, die vom Photographen selbst präpariert und sofort „noch naß“ zur Aufnahme verwendet werden mußte. Unsere heutigen Platten, deren Haltbarkeit und Empfindlichkeit gegenüber den nassen Platten außerordentlich ist, werden von besonderen Fabriken angefertigt und bestehen im allgemeinen aus einer Glasfolie mit einem einseitigen Überguß von Bromsilbergelatine-Emulsion. Bei Bereitung dieser Emulsion gehen die Zusätze der Gelatine, Bromkalium und Silbernitrat eine Wechselzersetzung unter Bildung von Kaliumnitrat und Bromsilber ein. Das Kaliumnitrat wird ausgewaschen, und es bleibt allein das in der Emulsion fein verteilte

Bromsilber zurück. Zusatz von Ammoniak, längeres Kochen u. s. w. erhöhen die Lichtempfindlichkeit der Bromsilbergelatine wesentlich. Ist schließlich die Emulsion ausgereift, so wird sie auf Glasplatten vergossen und trocknet dort ein, eine weißlich-gelbe Schicht bildend. Dies ist mit knappen Worten der Werdeprozeß der photographischen Platten. Über die Haltbarkeit der Platten lassen sich bestimmte Angaben nicht machen, doch darf man annehmen, daß sie meist nach einem Jahr — oft noch viel länger — brauchbar sind, falls sie trocken und dunkel in ihrer Original-Verpackung aufbewahrt wurden. Längeres Liegen in Kassetten macht die Platten jedoch leicht schleierig und ist daher zu verwerfen.

Das Bromsilber wird durch den Einfluß des Lichtes zersetzt und zwar um so reichlicher, je stärker und länger der Lichteindruck ist. Doch ist die Farbe des Lichtes nicht gleichgültig. Läßt man z. B. das Sonnenspektrum auf die photographische Platte fallen, so wird auch nach langer Exposition sich die Stelle, auf welche das Rot fiel, so gut wie gar nicht, wenig die vom Gelb getroffene Partie, mehr schon der dem grünen Licht ausgesetzte Teil der Bromsilber-Emulsion zersetzen. Weitaus am wirksamsten ist jedoch das blaue und violette Licht.

Offenbar werden also die brechbareren Lichtstrahlen von dem Bromsilber am stärksten absorbiert, denn nur so läßt sich ihre größere Wirksamkeit erklären. Die anderen Lichtarten verlaufen dagegen um so wirkungsloser, je mehr sie sich in der Reihenfolge Violett, Blau, Grün, Gelb, Rot dem Rot nähern. Aber auch jenseit des Violett, im Gebiete jener kurzwelligen Ätherschwingungen, die das Auge als Licht nicht mehr zu empfinden vermag, hört die chemische Einwirkung nicht auf; das photographierte Sonnenspektrum zeigt sich vielmehr gegen das mit bloßem Auge gesehene über das Violett hinaus nicht unbeträchtlich verlängert. So kommt es, daß eine photographische Platte fast farbenblind ist und jedenfalls die Helligkeitsunterschiede in der Natur anders wiedergibt, wie unser Auge.

Die Einwirkung der Röntgenstrahlen auf die photographische Schicht besteht ebenso wie diejenige des Lichtes in einer Einleitung der Zersetzung des Silbersalzes. Vollendet wird diese durch die Behandlung der Platte in reduzierenden Lösungen, welche die Silberteilchen an den belichteten Teilen mehr oder weniger kräftig ausscheiden. Da die Ausscheidung des Silbers unter Schwärzung erfolgt, so erscheint in allen Abstufungen auf der lichtempfindlichen Schicht ein Bild, das dem auf der Platte liegenden und von den

Röntgenstrahlen in seinen einzelnen Partien mehr oder weniger durchdrungenen Gegenstande entspricht. So entsteht ein Negativ, da die tiefsten Schatten in der Emulsion naturgemäß die geringste Zersetzung hervorrufen.

Die photographische Technik schreibt der Reihe nach folgende Manipulationen vor:

Negativprozeß
1. Das Einlegen der Platte in die Kassette.
2. Die Bestrahlung der Platte.
3. Das Entwickeln, Fixieren und Fertigmachen der Platte.

Positivprozeß
1. Das Kopieren der Platte zur Herstellung eines positiven Bildes.
2. Das Fertigmachen der Abzüge (Tonen, Fixieren u. s. w.)

A. Das Einlegen der Platte.

Es ist allgemein bekannt, und nach dem Vorangegangenen versteht es sich eigentlich von selbst, daß sämtliche Operationen mit der Platte, soweit sie sich nicht auf die Aufnahme selbst beziehen, in einem Raume vorgenommen werden müssen, der Schutz vor aktinischen Strahlen gewährt, d. h. in einer Dunkelkammer. In dieser Dunkelkammer wird die Beleuchtung durch rotes Licht hergestellt, das so gut wie unwirksam ist.

Wenn es irgend die Verhältnisse gestatten, sollte man stets für die Dunkelkammerarbeiten einen besonderen Raum zur Verfügung haben und nicht darauf angewiesen sein, in demselben Zimmer, in dem die Röntgen-Einrichtung aufgebaut ist, auch entwickeln zu müssen.

Man wählt zur Dunkelkammer einen kleinen Raum, der womöglich kein Fenster enthält (Keller). Alles etwa von dem Türrahmen her eindringende Licht wird sorgfältig abgeblendet und evtl. vor der Türe noch durch einen dichten Vorhang zurückgehalten. Fenster verklebt man am besten mit schwarzem, undurchlässigem Papier und nagelt ein dichtes Tuch vor den Rahmen. Hat sich das Auge allmählich an die Dunkelheit gewöhnt, so werden sich hie und da noch Undichtigkeiten zeigen, die ebenfalls beseitigt werden müssen. Sehr bequem ist es, da, wo die Mittel dazu reichen, eine Dunkelvorrichtung anbringen zu lassen, bestehend aus einem dicken filzartigen Vorhang, der sich von einer Walze in seitlichen Nutenführungen lichtdicht vor dem Fenster herabrollt.

Die Beleuchtung erfolgt durch eine rot verglaste Laterne. Das

Licht derselben sollte durchaus monochrom sein. Man kann jedoch darauf rechnen, daß von zehn angebotenen roten Scheiben nur eine den Anforderungen genügt. Am besten ist das rote spektroskopisch geprüfte Kupferüberfangglas. Auf folgende einfache Weise kann man sich selbst ein Urteil über den Wert der Scheibe bilden. Man hält sie gegen das Fenster oder gegen eine Lampe und blendet das Licht durch eine mit einem Schlitz versehene Pappscheibe bis auf einen schmalen Streifen ab. Betrachtet man den roten Lichtstreif durch ein Prisma, dessen brechende Kante parallel zum Schlitz gehalten wird (durch Drehen des Prismas und Hin- und Herbewegen des Auges findet man das Bild leicht auf), so muß der Spalt klar begrenzt und nur in roter Farbe erscheinen; zeigt das Bild einen verwaschenen Rand in gelber, grüner oder gar blauer Färbung, so ist die Scheibe für photographische Zwecke untauglich.

Freilich hat nicht jeder gleich ein Prisma — man kann zur Not eines von einer Kristallkrone nehmen — oder gar ein Spektroskop zur Hand, auch gehört zur richtigen Ausführung der kleinen Untersuchung immerhin etwas Übung.

Es sei daher auf eine andere Prüfungsmethode aufmerksam gemacht, die jedenfalls einfach genug ist, wenn sie auch an Sicherheit die spektroskopische Prüfung nicht erreicht. Ein weißer, sowohl wie ein roter Körper werfen rotes Licht zurück und werden daher, durch ein rotes Glas betrachtet, beide in gleich guter Weise sichtbar. So kommt es, daß ein roter Buchstabe auf weißem Papier scheinbar völlig verschwindet, vorausgesetzt, daß das Beobachtungsglas wirklich nur rote Strahlen hindurchläßt. In allen anderen Fällen hebt sich der Buchstabe von seinem Untergrund ab. Prüft man auf diese Art eine Dunkelkammerscheibe, so wird man sicher sein, keine ganz unbrauchbare zu erhalten. Für den roten Buchstaben eignet sich nur Zinnober in Aquarellfarbe, für den Untergrund jedes wirklich weiße Papier ohne Glanz. Oft trifft man brauchbare Druckschrift an. So konnte sich z. B. der Verfasser einmal mit gutem Erfolg einer der bekannten Byrolin-Tuben bedienen.[1])

Eine weitere — und schließlich vielleicht die einfachste und sicherste — Probe kann mit einer Platte gemacht werden, die man, zur Hälfte mit einem Karton bedeckt, in der Dunkelkammer dem Licht der Laterne aussetzt und dann entwickelt. Zeigt sich nach einer

[1]) Ein recht einfaches Spektroskop gibt auch Lockeyer in der Zeitschrift für phys. u. chem. Unterricht an (3. 1899).

Die mattweiße Seite der Platte ist die lichtempfindliche, sie soll später den einfallenden Röntgenstrahlen ausgesetzt werden. Zum Zwecke der Bestrahlung muß die Platte eine Umhüllung erhalten, die lichtdicht ist, ohne den Röntgenstrahlen ein nennenswertes Hindernis zu bieten. Sehr gut eignet sich hierzu das von allen photographischen Handlungen geführte mattschwarze Papier. Es

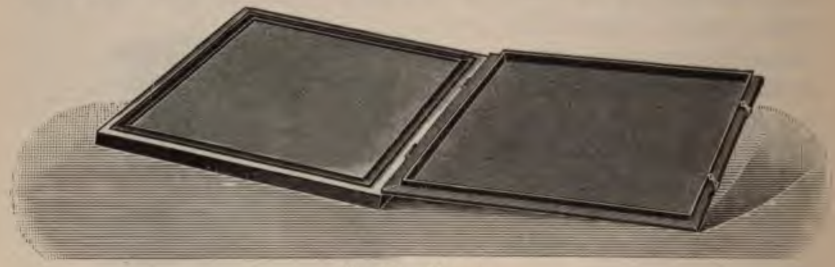


Fig. 126. Kassette.

wird sauber um die Platte geschlagen, an den überstehenden Seiten nach hinten umgeknifft und auf der Seite, nach welcher zu die Schicht liegt, mit Kreide bezeichnet. Mehrere solcher Couverts für verschiedene Plattengrößen werden fertig geknifft vorrätig gehalten.

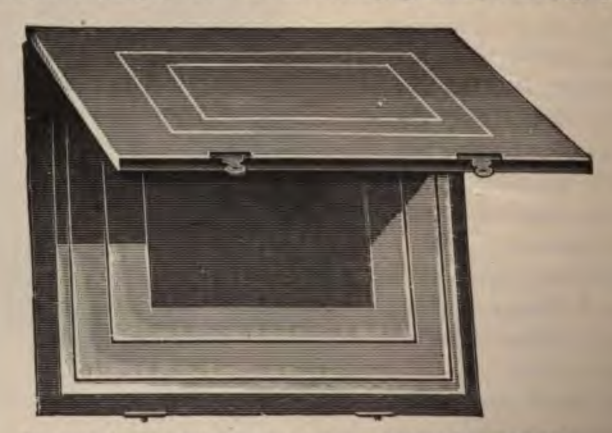


Fig. 127. Kassette mit Einsätzen für verschiedene Plattenformate.

Jede Berührung der Plattenschicht mit der Hand ist durchaus zu vermeiden. Man faßt die Platte an der Kante mit Daumen und Zeigefinger beider Hände und unterstützt sie mit den anderen Fingern nötigenfalls von der Glasseite her.

Sehr bequem sind Kassetten, deren eine Wand

dichter Pappe besteht (Fig. 126 nach Kohl-Chemnitz). Die Platte wird so eingelegt, daß die empfindliche Schicht die Pappseite berührt. Eine Kassette für mehrere Plattenformate muß ineinander passende Rahmeneinsätze haben, deren Maße außen auf dem Deckel ebenfalls im Linienumriß angegeben sind (Fig. 127 nach Levy-Berlin).

B. Die Bestrahlung der Platte.

Die Bestrahlung kann nun bei vollem Tageslicht vorgenommen werden. Man hat dafür zu sorgen, daß die Mitte der Platte möglichst senkrecht von den Röntgenstrahlen getroffen wird und daß der Körper, dessen Schattenwurf auf ihr erscheinen soll, sich der Kassettenoberfläche gut anschmiegt. Die Versuchsanordnung ist also sehr einfach (Fig. 128). Die Kassette liegt auf einer festen Unterlage, Schichtseite der Platte nach oben, der Abstand der Röhre richtet sich nach der Dicke des Objektes und auch nach der Schärfe, welche erzielt werden soll, außerdem ist je nach der Schlagweite des Induktors, um das Überspringen von elektrischen Entladungen auf das Objekt zu verhüten, ein Sicherheitsabstand zwischen diesem und der Röhre einzuhalten; 15—20 cm werden meistens genügen.

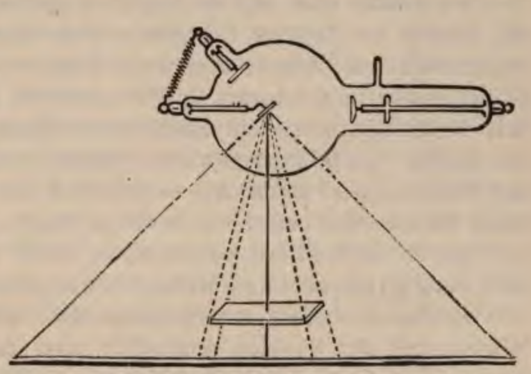


Fig. 128. Anordnung der Röntgenröhre zur Platte.

Man beachte, daß mit der Annäherung der Röhre an das Aufnahmeobjekt die Verzerrung des Schattenbildes wächst. Schon aus diesem Grunde wird es empfehlenswert sein, einen gewissen Minimalabstand von der Platte einzuhalten, für die Handaufnahme etwa 15—25 cm, für ausgedehntere Objekte natürlich entsprechend mehr. Von der zweckmäßigen Wahl des Röhrenabstandes hängt für die Aufnahme viel ab, ebenso wie von der Stellung der Röhre. Daß der Ausgangspunkt für die Röntgenstrahlen, die Antikathode, möglichst senkrecht über der Plattenmitte stehen müsse, wurde bereits gesagt, es ist noch hinzuzufügen, daß die von den Kathodenstrahlen

getroffene Seite des Platinbleches von allen Stellen der Platte sichtbar sein muß. Daß die Antikathode der Platte parallel sein müsse, ist durchaus unrichtig. Die homogenste Strahlung wird bei der durch die Figur angedeuteten Stellung der Röhre erzielt. Um ein möglichst gleichmäßiges Bild zu erzielen, wird man oft — vorausgesetzt, daß dadurch zu starke Verschiebungen nicht eintreten — die Röhre über dem dichtesten Teil des Objektes aufstellen, z. B. bei einer Aufnahme der Hand nicht senkrecht über der Mitte derselben, sondern über den Handwurzelknochen. Die Verzerrung der Fingerschatten ist, wegen ihrer dichten Anlage an die Platte, hierbei gering. Sonst stellt man natürlich über dem Objekt ein, das am wenigsten verzerrt erscheinen soll.

Verwendet man nur in Papier eingewickelte Platten, so wird die Schicht bei längerer Exposition leicht durch die feuchte Wärme des animalischen Objektes beeinflußt. Dann ist es zweckmäßig, einige Blätter Papier unterzulegen, durch welche die Strahlung nicht wesentlich vermindert wird; ein Stückchen Guttaperchapapier eignet sich am besten. Große Plattenformate werden von den auf ihnen liegenden Patienten gern zerdrückt; es empfiehlt sich daher, unter die Platte dicke Pappe oder besser ein Brett zu legen.

Jeder Aufnahme sollte eine Untersuchung der Röhre mit dem Fluorescenzschirm vorangehen.

Es wurde bereits auseinandergesetzt, daß die photographische Wirksamkeit der Strahlen wesentlich vom Zustande der Röhre abhängt. Der Grad der Luftverdünnung spielt dabei die Hauptrolle, und wir können nach den bisher gemachten Erfahrungen sagen, daß jedenfalls die von harten Röhren herrührenden, also mit der größten Durchdringungskraft ausgerüsteten Strahlen, die chemisch wirksamsten *nicht* sind. Je nach der Zusammensetzung der empfindlichen Schicht, werden *diejenigen Strahlen auch für photographische Aufnahmen im allgemeinen am geeignetsten sein, die am Fluorescenzschirm die stärksten Kontraste zwischen Fleisch und Knochen hervorrufen und hierbei das Feld am stärksten aufleuchten machen.* Auch die Fluorescenz der Röhrenwände scheint dann ein Maximum zu sein und zeigt ein gesättigtes, intensives Grün, ohne daß aber bereits blaues Glimmlicht an der Kathode aufträte.

Man reguliert daher vor der Aufnahme die Röhre so ein, daß bei kräftiger Fluorescenz die Knochenschatten der Hand, welche allgemein als Versuchsobjekt dienen, eben beginnen, bei kontrastvoller Tiefe doch schon deutliche Gliederung und Struktur zu zeigen.

Ist die Röhre erst so hart geworden, daß der Schattenwurf seine Kontraste zu verlieren und eine schwer zu beschreibende Fadenscheinigkeit anzunehmen beginnt, so wird man niemals eine gute Aufnahme erzielen. Solche Röhren verwendet man dann ausschließlich für Objekte, deren Kompaktheit und Stärke eine größere Durchdringungskraft der Röntgenstrahlen erfordern.

Da es sich meist um längere Expositionszeiten handelt, sorge man vor allem für eine sichere und bequeme Lage des Objektes. Mit Hilfe einiger zusammengelegter Tücher und kleiner Klötzchen wird sie leicht zu erreichen sein, am leichtesten natürlich bei einfachen Objekten, wie z. B. bei der Hand und dem Unterarm, die man auf einem Tisch auflagern lassen und passend unterstützen kann. Aufnahmen des Oberarmes, des Brustkastens, der unteren Extremitäten sind natürlich schwerer zu arrangieren, aber bei einigem Geschick wird man sich auch dort ohne besondere Vorrichtungen behelfen können. Man bedenke, daß man es ja gar nicht nötig hat, das Objekt passend zur Röhre anzuordnen, sondern vielmehr richtiger die Röhre in die günstigste Stellung zum Objekt bringt.

So lassen sich die Aufnahmen des Schädels, des Oberarmes, des Kniegelenkes u. a. m. sehr gut vornehmen, wenn der Kopf mit der Platte gegen die Wand gedrückt, bezgl. die Kassette zwischen Oberarm und Brustkasten oder endlich zwischen die beiden Kniee eingeklemmt wird. Die Röhrenanordnung ist dann in allen Fällen seitlich zum Objekt.

Oft ist man jedoch in der freien Beweglichkeit von Objekt und Röhre behindert, zo z. B. bei Schwerkranken, deren Lage man nicht unnütz verändern möchte. In solchen Fällen leisten die von den meisten Fabriken gebauten Kassettenstative durch ein Anpassen der Platte an den zu untersuchenden Körper von allen Seiten her gute Dienste (Fig. 129 nach Ernecke-Berlin). Ein in der Höhe verstellbares kräftiges Stativ aus Holz ist am oberen Ende der vierkantigen Auszugsäule mit einem Scharnier und letzteres wiederum mit einem Kugelgelenk versehen, so daß die mit demselben verbundene Kassette nach allen Seiten hin frei beweglich wird. Die Abbildung veranschaulicht die Stellung zur Aufnahme des Ellenbogengelenkes. Eine zweckmäßige Vorrichtung gestattet gleichzeitig, auch die Röhre in einer bestimmten Stellung der Platte gegenüber zu fixieren.

Ist zur Aufnahme alles bereit, so ist die Frage nach der Expositionszeit zu beantworten, und das ist heute bereits recht schwierig. Vor nicht allzu langer Zeit war die Antwort sehr einfach: Man be- [illegible] so lange, als es der Zustand der Röhre und die Geduld des

Patienten irgend zuläßt, das Resultat wird doch eine Unterexposition der Platte sein. Verfasser kann sich der Zeit erinnern, wo die Aufnahme einer Hand noch $^3/_4$ Stunden und länger dauerte. Heute ist das anders geworden. Die vervollkommneten Apparate machen eine unbeabsichtigte Überexposition, wenigstens leichteren Objekten gegenüber, durchaus möglich; hier entscheidet allein die Erfahrung.

Wenn daher nachstehend einige Fingerzeige und Regeln gegeben werden, so sollen sie jedenfalls nur zur rohen Orientierung dienen und dem Anfänger die gröbsten Fehler ersparen.

Fig. 129. Vorrichtung zur Aufnahme des Armes.

Die Röntgenröhre sendet wie eine Lichtquelle Energie in den Raum aus, die schnell abnimmt und zwar, wie beim Licht, mit dem Quadrat der Entfernung vom Ausstrahlungspunkt. So wird also eine photographische Platte in doppelter Entfernung eine viermal geringere Energiemenge in der Zeiteinheit erhalten oder zur Erzeugung desselben chemischen Zersetzungseffektes einer viermal so langen Belichtungszeit bedürfen. Natürlich wächst diese Zeit noch mit der Dichte des zwischen der Platte und der Röhre befindlichen Mediums.

Ist z. B. in einem Falle die Expositionszeit = 1 gefunden, bei einem Röhrenabstande = 3 und der Dichte des Zwischenmediums = 1, und soll dieselbe für ein Medium von der Dichte = 3 bei einem Röhrenabstand = 6 bestimmt werden, so ist folgende Erwägung nötig.

Es ist ohne weiteres verständlich, daß die Strahlungswirkung abnehmen wird mit der Dichte des Mediums, mit anderen Worten, daß sie ihr umgekehrt proportional sein muß. Infolgedessen ist die Expositionszeit der Dichte proportional und erhöht sich mithin in unserem Falle zunächst auf den Wert 3. Außerdem ist noch der Zuwachs an Entfernung zu berücksichtigen. Sie beträgt im ersteren Falle 3, im zweiten 6, hat also um das Doppelte zugenommen und daher die Expositionszeit um das Vierfache erhöht. Mithin setzt sich die zu bestimmende Expositionszeit aus den Beträgen $1 \cdot 3$ und $1 \cdot 4$ zusammen; sie wird gleich der Summe beider, also $= 3 + 4 = 7$ sein.

Jedenfalls kann die Expositionszeit nur vergleichsweise bestimmt werden unter der Voraussetzung, daß sich außer der Dichte des Objektes und dem Abstand der Röhre nichts ändert. Das ist nun leider stets der Fall, und hier ist die Stelle, wo die Erfahrung korrigierend und entscheidend eintreten muß.

Außer mit der Dichte des Zwischenmediums wächst die Expositionszeit auch mit der Dicke des Mediums. Das Produkt beider kann als Gesamtwiderstand gegen die Durchstrahlung angesehen werden.

Zur leichteren Auffindung der Expositionszeit sind in der beistehenden Tabelle die Widerstände einzelner menschlicher Körperteile zusammengestellt, wobei der Widerstand der Hand mit 1 bezeichnet wurde.

Widerstand einzelner Körperteile gegen Röntgenstrahlung in Verhältniszahlen. Mittelhand = 1.

	W.		W.
Hand	1	Brustkorb	3—4
Unterarm	1,4	Brustbein	3,8
Ellenbogengelenk . .	1,5	Fuß	1,8
Oberarm	1,8—2,5	Unterschenkel . . .	2—2,8
Schultergelenk . . .	3	Knie	3
Schlüsselbein	2,7	Oberschenkel	3—5
Hals	3	Hüftgelenk	6—8
Schädel	4,5	Becken	8—10

Einige Beispiele werden genügen, um die Benutzung der Tabelle zu zeigen. Für eine bestimmte Röhre, bestimmten Abstand derselben von der Platte, bekannte Stromstärke und Unterbrechungszahl, wird die Expositionszeit für irgend einen Körperteil, aus Bequemlichkeitsgründen am besten für die Hand, bestimmt. Von dieser

Erfahrungsbasis aus läßt sich dann die Aufnahmezeit für einen anderen Körperteil unter Berücksichtigung dessen, was wir bereits über den Einfluß der Dichte des Körpers und des Röhrenabstandes sagten, folgendermaßen ableiten.

Ist a der Röhrenabstand bei der Handaufnahme
t die Zeit, welche zu dieser Aufnahme erforderlich war,
ferner b der Röhrenabstand für die herzustellende Aufnahme
W der Durchleuchtungswiderstand des aufzunehmenden Körperteiles nach der Tabelle: dann ist
die erforderliche Expositionszeit

$$t' = t \cdot W \cdot \left(\frac{b}{a}\right)^2$$

Beispiel I: Die zu einer Handaufnahme erforderliche Zeit betrage 15 Sekunden ($t = 15$), der Röhrenabstand von der Platte 20 cm ($a = 20$); zu bestimmen sei die Expositionszeit für den Brustkorb.

Aus der Tabelle findet man $W = 4$; die Stärke des Objektes möge einen Röhrenabstand von 40 cm erforderlich machen ($b = 40$), dann lautet die Gleichung:

$$t' = 15 \cdot 4 \cdot \left(\frac{40}{20}\right)^2$$
$$= 60 \cdot 2^2 = 60 \cdot 4 = 240 \text{ Sekunden}$$
$$= 4 \text{ Minuten.}$$

Beispiel II: Mit einer Röhre, die in 17,5 cm Entfernung ($a = 17,4$) eine gute Handaufnahme bereits in 8 Sekunden möglich macht ($t = 8$), soll ein Becken aufgenommen werden. Die Korpulenz der Person mache einen Röhrenabstand von 64 cm nötig ($b = 64$). Aus der Tabelle ist für das Becken $W = 8$; dann ist

$$t' = 8 \cdot 8 \cdot \left(\frac{64}{17,5}\right)^2$$
$$= 64 \cdot 3,66^2 = 858 \text{ Sekunden}$$
$$= 14 \text{ Minuten, } 18 \text{ Sekunden.}$$

Es braucht wohl nicht nochmals darauf hingewiesen zu werden, daß diese Bestimmungen nur Näherungswerte sind, die durch das Spiel verschiedener Faktoren nicht unbeträchtlich verschoben werden können. So wird zu berücksichtigen sein, daß die Tabellenzahlen sich nur auf die Messungen an derselben Person beziehen können und daß es nicht angängig ist, jeder Aufnahme irgend eines Körperteiles die Aufnahme der Hand desselben Individuums vorangehen zu lassen. Hier ist es Sache des Gefühls, zu entscheiden, wie man auf Grund des vom Leuchtschirm gelieferten

Bildes bei einem angenommenen Röhrenabstande auf die Hand richtig exponieren würde. Dann behalten die Tabellenzahlen ihren Wert.

Zur Exposition ist ein Sekundenchronometer recht bequem, das zugleich mit dem Beginn der Bestrahlung von dem Betrage *O* zu zählen beginnt. Das Zifferblatt ist in $^1/_5$ Sekunden eingeteilt. Beim ersten Druck auf die Knopfkordel beginnt der große Zeiger umzulaufen, während ein kleinerer die ganzen Minuten anzeigt. Bei einem zweiten Druck werden die Zeiger arretiert, beim dritten springen sie auf *O* zurück (Fig. 130).



Fig. 130. Expositionsuhr.

C. Schwierige Aufnahmen.

Jede Aufnahme muß als schwierig angesehen werden, bei der die Beschaffenheit des Aufnahmeobjektes eine lange Expositionszeit bei starker Inanspruchnahme der Röhre erforderlich macht, oder bei der das Objekt klein, sehr durchlässig und in stark zerstreuende Teile eingebettet ist. Nicht als ob hierbei auch an die Unschärfe gedacht

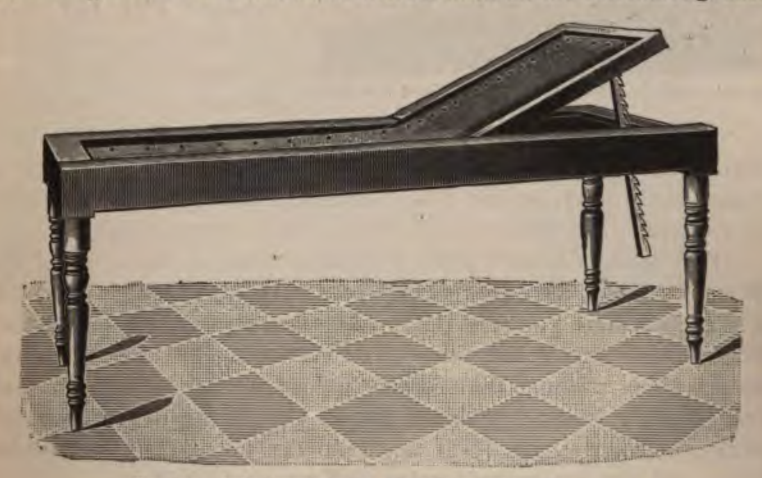


Fig. 131. Aufnahmetisch für eine Durchstrahlung von unten.

würde, die durch die willkürlichen Bewegungen des Objektes entsteht. Hier läßt sich durch geschickte Anordnung und Unterstützung des Körpers genügende Ruhe erzielen. So kann man Brust- und Beckenaufnahmen — und um diese handelt es sich hier vorzugsweise — durch Lagerung des Patienten auf einem Tisch mit untergeschobener Platte machen, ohne daß sich der zu Untersuchende wesentlich bewegen wird.

Fig. 132. Einfache Anordnung zur Aufnahme des Brustkorbes.

Soll die Kassette auf der Bauchseite aufliegen, was z. B. erforderlich ist, wenn ein Fremdkörper mehr der Front zu vermutet wird, so braucht die sichere, liegende Stellung nicht aufgegeben zu werden. Man kann dann die Röhre unterhalb des Objektes anordnen, vorausgesetzt, daß ein Tisch vorhanden ist, dessen Platte durch einen mit festem Segeltuch straff überspannten Rahmen ersetzt ist. Derartige Aufnahmetische werden in verschiedenen Formen konstruiert; Fig. 131 zeigt einen solchen von Kohl in Chemnitz. Er ist mit einer besonderen Vorrichtung zur Unterstützung des Oberkörpers versehen, ein seitlich an dem Tischrahmen zu befestigendes Stativ trägt, in der Höhe und nach allen Seiten verstellbar, die Kassette. Die Röhre wird unter dem Tisch angeordnet.

Für Brustaufnahmen zieht Verfasser, wenn es der Zustand des Patienten erlaubt, ein Sitzen des Körpers mit ruhiger Anlage desselben an die Stuhllehne vor (Fig. 132). Die Befestigung der Kassette an der Stuhllehne macht alle besonderen Vorrichtungen entbehrlich und die gewohnte Stellung des Körpers bei horizontalem Röhrenabstand wirkt weniger beängstigend auf den zu Untersuchenden als eine gestreckte Lage auf einem Tisch unterhalb der unheimlich leuchtenden Röhre und der funkensprühenden Drähte.

Tafel II.



Verlag von Reuther & Reichard in Berlin.

Schultergelenk und Brustkorb
eines 20jährigen Mädchens.

Aufnahmenotizen:

Induktorschlagweite: 30 cm.
Unterbrecher: elektrolytischer.
Zahl der Unterbrechungen: 450 i. Sk.

Betriebsspannung: 110 Volt.
Platte: einfach begossen m. Verstärkungsschirm.

Entfernung der Antikathode von der Platte: 40 cm.
Expositionszeit: 2 Sekunden.



Die gesteigerte unwillkürliche Bewegung des Atmens als Ausfluß einer starken Erregung ist der photographischen Aufnahme besonders im Wege, namentlich wenn es sich um die Aufsuchung eines Fremdkörpers von geringen Abmessungen handelt. Denn es ist selbstverständlich, daß der Schatten eines derartigen Körpers durch die Atembewegungen auf der Platte hin- und hergeführt wird und unter Umständen bei großer Plattendistanz mit Sicherheit nicht mehr erkannt und gedeutet werden kann.

Nun hat man es in neuerer Zeit durch Hilfsmittel, die wir weiter unten kennen lernen werden, zwar zuwege gebracht, Brustkorb-Aufnahmen bei angehaltenem Atem zu machen, aber diese gehören doch zu den Ausnahmen. Will man bei längeren Expositionen möglichste Schärfe erzielen, so lasse man zu Anfang tief Atem holen, wodurch die Lungensäcke mit Luft gefüllt und durchscheiniger werden, und beschränke weiterhin die Tiefe der Atemzüge auf ein Mindestmaß. Aber nicht jeder Patient wird zu dieser Art Atmung fähig sein. Es ist daher vielleicht von Interesse, eine hübsche Anordnung kennen zu lernen, die, von Thomson angegeben, dahin zielt, die Röhre jedesmal nur dann einzuschalten, wenn sich die Lungensäcke mit Luft gefüllt haben. Dies geschieht automatisch. Auf der Brust des Liegenden wird in irgend einer sicheren Weise in aufrechter Stellung ein kleines, etwa zur Hälfte mit Quecksilber gefülltes Glasröhrchen befestigt. Von oben her, und durch ein seitlich aufgestelltes Stativ gehalten, kann in das Röhrchen ein Metallstift eingeführt und so in der Höhe justiert werden, daß er immer dann in das Quecksilber eintaucht, wenn die Brust des Atmenden sich voll gehoben hat. Tritt diese Vorrichtung an Stelle des Ausschalters in den Primärstromkreis, so wird in der Tat eine Bestrahlung selbsttätig nur in den Augenblicken tiefster Einatmung erfolgen. Das Aufnahmeobjekt wird dann immer wieder auf dieselbe Platte projiziert. Dies ist das Prinzip der Thomsonschen Anordnung. Welche Modifikationen dieselbe für den praktischen Gebrauch angenommen hat, ist dem Verfasser unbekannt, auch glaubt er kaum, daß sie noch viel Anwendung finden wird, nachdem es gelungen ist, mit Hilfe der modernen Unterbrecher Aufnahmen des Brustkorbes in wenigen Sekunden zu machen.

Beim Thorax liegen die Aufnahmebedingungen noch verhältnismäßig günstig. Die Muskulatur, welche vorzugsweise einer Durchstrahlung hinderlich ist, tritt in dünnen Lagen auf, die Lungensäcke bieten kaum einen nennenswerten Widerstand und die Knochenpartien liegen dicht an der Platte. Auch die Röhrenentfernung

kann gering genommen werden, da man von vornherein darauf verzichten muß, auch die der Röhre zunächstliegenden Partien der Rippenreifen mit zur Darstellung zu bringen. Daher wird in allen Fällen mit einem Röhrenabstande von etwa 40 cm von der Platte eine genügend große Schärfe erzielt werden können.

Anders beim Becken. Hier vereinigen sich alle Umstände, um die Durchstrahlung zu einer denkbar ungünstigen zu machen. Nicht nur, daß die inneren Teile von einer sehr kräftigen Muskulatur eingeschlossen sind, nicht nur, daß die in den Därmen eingeschlossenen Kotmassen ein hohes Widerstandsvermögen besitzen, auch der Abstand des Knochengerüstes von der Platte ist ein nicht unbeträchtlicher, von welcher Seite man diese auch anlegen mag. Außerdem herrscht zwischen den Knochen und den sie umgebenden Fleischteilen ein ungünstiges Verhältnis. Das ist folgendermaßen zu verstehen. Die Knochenkörper sind zwar an sich spezifisch bedeutend dichter und dabei durchstrahlungsfester als die sie umgebenden Fleischmassen, aber jene übertreffen sie bei weitem an Stärke. Nun nimmt aber der Durchstrahlungs-Widerstand nicht nur mit der Dichte, sondern auch mit der Stärke zu, und so kommt es, daß der Gesamt-Widerstand der Fleischteile fast ebenso hoch ist, als der der Knochen. Freilich wird sich trotzdem der Schattenwurf immer etwas markieren müssen, da die Differenz zwischen dem Widerstand der Knochen und dem der durch jene verdrängten Fleischpartien additiv gegenüber dem Gesamt-Widerstande des Fleisches zum Ausdruck kommen muß. Aber jedenfalls wird dies Plus sehr gering sein und unter Umständen bei korpulenten Personen unmerklich werden können.

Außerdem zeigen die zarten Knochenschatten des Beckens auf der Platte eine Verwaschung, die sich aus dem großen Abstande der Knochen von der Platte allein nicht erklären läßt. Denn auch eine Vergrößerung des Röhrenabstandes über das schon an und für sich zur Vermeidung allzugroßer Verzerrungen erforderliche Maß ändert daran wenig. Der Grund für diese Erscheinung ist vielmehr eine Diffusion der Röntgenstrahlen innerhalb der Fleischteile.

Man weiß, daß die X-Strahlen diffus werden, sobald sie das ··m der Erzeuger-Röhre verlassen haben, d. h. daß jedes von ·troffene Luftteilchen wiederum, wenn auch in ver- ·fle, fähig ist, Röntgenstrahlen auszusenden. Diese ·t noch intensiver in den dichteren Fleischteilen auf; die · dort zerstreut, wie etwa ein Lichtstrahl in einer ·eit. So dringen nicht nur von außen, von der

Röhre her, Strahlen in den Körper, sondern es bilden sich Strahlenquellen auch innerhalb desselben aus, deren Wirkung, wenn sie seitlich erfolgt, in einer Verschleierung der Schattenkonturen besteht.[1]) Man muß daher bestrebt sein, die Bestrahlung aller den aufzunehmenden benachbarten Körperteile möglichst zu verhindern. Das geschieht mit Hilfe der Bleiblenden.

Zwischen Röhre und Platte tritt ein Schirm aus Blei mit einem dem Plattenformat entsprechenden Ausschnitt.

Kohl in Chemnitz konstruiert derartige Bleiblenden, indem er einen Kasten mit passenden Ausschnitten für Leib und Extremitäten über das Becken stellt. Der Deckel ist durch ein viereckig ausgeschnittenes Bleiblech ersetzt; ein weiterer Blendenaufbau, sich bis zur Röhre erstreckend, vervollständigt den Apparat (Fig. 133).



Fig. 133. Bleikiste für Beckenaufnahmen.

[1]) Besonders die mit großer Durchdringungskraft begabten, sogen. harten Röntgenstrahlen zeigen starke Diffusion.

Verfasser verwendet kleinere Blenden und bringt dieselben gleich unterhalb der Röhre mit einer Klemme an, die er am Röhrenstativ selbst befestigt. Die genaue Einstellung der Blende ist sehr einfach. Zunächst wird die Röhre so aufgestellt, daß sie die gewünschte Entfernung von der Platte hat, darauf an Stelle der Platte ein Fluorescenzschirm auf den Aufnahmetisch gelegt und dann die Blende in der Höhe so verstellt, daß gerade nur ein der Plattengröße entsprechendes Stück des Schirmes zum Aufleuchten kommt. An diese Stelle wird dann die Platte und darüber das Aufnahme-Objekt gelegt.

Ein gewisser Nutzen läßt sich den Bleiblenden nicht absprechen, wennschon der Erfolg den Erwartungen nicht immer entspricht.

Im vorangehenden wurden nur die Schwierigkeiten besprochen, die für eine Beckenaufnahme aus den eigentümlichen Verhältnissen des Objektes selbst hervorgehen. Weit mißlicher ist die Veränderung des Strahlencharakters infolge der langen Exposition und der hohen Inanspruchnahme der Röhre.

Die chemisch wirksamen Strahlen weicher Röhren haben eine nur geringe Durchdringungskraft, die harter Röhren dagegen durchsetzen auch die Knochen und machen schon aus diesem Grunde eine kontrastreiche Aufnahme unmöglich. Nun stände die lange Expositionszeit am Ende der Verwendung mittelweicher Röhren nicht im Wege, denn es wird in den weitaus meisten Fällen gelingen, den Patienten so zu lagern, daß er einige Minuten in seiner Position ruhig verharren kann. Aber die Röhre bleibt eben nicht konstant. Während sie zu Anfang der Bestrahlung den gewünschten Härtegrad zeigte, sendet sie, infolge des durch den Stromdurchgang verschlechterten Vakuums, gegen Ende der Exposition vielleicht schon Strahlen aus, die nicht einmal mehr das Fleisch der Hand zu durchdringen imstande sind. So ist man denn gezwungen, eine harte Röhre zu verwenden und es dem Zufall zu überlassen, ob es derselben beliebt, während des Stromdurchganges weicher zu werden. Das ist, wie man denken sollte, stets der Fall; doch weit gefehlt. Hier fangen die unberechenbaren Launen der Röhren an; es scheint sogar einen Grad der Evakuation zu geben, bei dem sie, wenigstens in höherem Alter, statt weich zu werden, während der Benutzung lieber ins Gegenteil umschlagen. In diesem Zustande geben sie niemals eine gute Beckenaufnahme.

Solange es daher wirklich brauchbare Röhren im

wenig kontrastreich. Es ist schwer, für die richtige Entwicklung ein allgemein gültiges Rezept zu geben, zumal, da verschiedene Plattensorten im Fixierbad verschieden stark zurückgehen. Übung macht auch hier den Meister.

Die fertigen Platten werden Schicht auf Schicht aufbewahrt, mit einer Zwischenlage von weichem Papier.

Obgleich alle Entwickler im ganzen oder in ihren haltbaren Hauptteilen in den photographischen Handlungen fertig zu haben sind, ist es doch, bei den für Röntgenzwecke meist benötigten großen Quantitäten, lohnend, die Zusammensetzung selbst vorzunehmen. Man nimmt dabei für jede neue Platte auch neuen Entwickler; eine Mischung mit schon gebrauchtem, durch welche man beispielsweise in der Landschaftsphotographie große Erfolge erzielen kann, ist für Röntgen-Aufnahmen nicht angezeigt. Es mögen hier einige bewährte Rezepte für Entwickler angegeben sein.

I. Eisen-Oxalat-Entwickler.

In 2 Lösungen, getrennt voneinander, gut verstöpselt aufzubewahren.

I. gesättigte Lösung von neutralem, oxalsaurem Kali.
II. gesättigte Lösung von reinem Eisenvitriol unter Zusatz von einigen Tropfen Schwefelsäure.

Die gesättigten Lösungen stellt man her, indem man die Chemikalien in reichlicher Menge in Flaschen füllt und etwa die gleiche Quantität Wasser aufgießt. Sie halten sich so lange gesättigt, als Kali, beziehungsweise Eisen, noch unaufgelöst in ihnen vorhanden ist. Man füllt daher die Flaschen nach jeder Benutzung wieder mit Wasser an und hat so stets gebrauchsfertige Lösungen zur Hand. Die für das Kali bestimmte Flasche muß etwa viermal mehr Inhalt haben als die für das Eisen. Von letzterem setze man überhaupt nicht zu große Quantitäten an, da es leicht verdirbt.

Zum Gebrauche werden 3 Teile von Lösung I mit 1 Teil von Lösung II gemischt.

Der Entwickler bringt das Bild verhältnismäßig schnell und klar heraus, hat jedoch die Unart, bisweilen während des Gebrauches Eisen auszufällen. Die schön rote Mischung wird dann plötzlich schmutziggelb und trübe und die Emulsion fühlt sich griesig an. Durch Abspülen derselben, sauberes Auswaschen der Schale und Anwendung neuen Entwicklers kann man die Platte oft noch retten. Das Ausfällen läßt sich vermeiden, wenn man darauf achtet,

lich, die Röntgenröhre dem Gegenstand und der Platte so weit wie möglich zu nähern. Dies bewerkstelligt Albers-Schönberg so, daß er die Bleiblende so weit in den Körper des Patienten hineindrückt, wie dieser es eben noch auszuhalten vermag. Die praktische Ausführung seines Apparates ist in Figur 135 dargestellt. Eine röhrenförmige Bleiblende befindet sich aufklappbar an dem über dem Patienten angeordneten Stativ. Sobald der Kranke gelagert ist, wird die Bleiblende heruntergeklappt und mit Hilfe der Kurbel möglichst weit in das Fleisch hineingedrückt. Dann erfolgt die Aufnahme, nach der man den Patienten möglichst schnell von dem Druck erlöst, indem man durch einen Druck auf eine Sperrvorrichtung die Bleiblende in die Höhe springen läßt. Auf die Justierung der Röhre oberhalb der Blende ist alle Sorgfalt zu verwenden. Man darf sich nicht eher zufrieden geben, als bis man unterhalb der Blende auf dem Fluorescenzschirm eine kreisrund leuchtende Stelle erscheinen sieht. Ist die Röhre nicht an der Bleiblende befestigt, sondern von einem besonderen seitwärts stehenden Stativ gehalten, so sei man bei der Freimachung der Arretierungsvorrichtung vorsichtig, da durch die emporschnellende Blende die Röntgenröhre leicht defekt werden kann. Bezüglich der weiteren ärztlichen Verwendbarkeit des Apparates müssen wir auf die Originalarbeit von Albers-Schönberg hinweisen.[1])



Fig. 135. Anwendung der Albers-Schönbergschen Kompressionsblende.

Was nun die Abkürzung der Expositionszeit anbelangt, so bedarf es zunächst wohl kaum eines Hinweises darauf, daß die von

[1]) Albers-Schönberg, „Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen“, V, Heft 5, 1902.

der Röhre ausstrahlende Energie in der lichtempfindlichen Schicht denkbar schlecht ausgenutzt wird. Die X-Strahlen durchdringen sie wie Papier, und man kann hinter der Platte noch eine zweite und dritte Platte wirksam exponieren. Ohne Frage geht also alle Strahlung, die sich auf den hinterliegenden Platten noch bemerklich macht, der ersten Platte verloren und zwar ein um so größerer Betrag, je weniger Strahlen von der Hauptplatte absorbiert werden. Die Abhilfe erscheint mithin sehr einfach. Man vereinige sämtliche Platten in einer, indem man eine Folie mit mehreren Gelatineschichten begießt, oder man gestalte die strahlenempfindliche Schicht so, daß sie möglichst viel Energie absorbiert.

Nach beiden Richtungen sind und werden in der Tat Versuche angestellt. Nicht immer mit vollem Erfolg. Denn die absorbierenden Aggregate sind entweder zu kostspielig, oder sie wirken zersetzend auf die empfindliche Bromsilberschicht ein und der Aufguß mehrerer Gelatinehäute wird bald zwecklos durch die Unfähigkeit des Entwicklers, bis zu ihnen vorzudringen. Man begnügt sich daher mit einem starken Aufguß auf Vorder- und Rückseite der Glasplatte. Der X-Strahl durchdringt dann die vordere Schicht, darauf das Glas und die zweite Schicht, auf jeder seine Spuren zurücklassend. So entsteht auf beiden Seiten der Platte ein Bild und in der Durchsicht addieren sich die dunklen Partien zueinander. Der Aufnahme fehlt es daher nicht an Kontrasten. Die Konturen fallen allerdings doppelt aus, können jedoch für die direkte Betrachtung der Platte an der jeweilig beobachteten Stelle stets zur Deckung gebracht werden. Auf Kontaktabzügen treten sie dagegen störend hervor, und daher eignen sich doppelt belegte Platten auch nicht für solche Aufnahmen, die in Büchern reproduziert werden sollen.

Zweifellos ist aber auch das dicke Glas noch deswegen ein für Doppelschichten wenig geeigneter Träger, weil es die Strahlung in hohem Maße absorbiert und der zweiten Emulsion nur noch verhältnismäßig wenig Energie zukommen läßt. Deckung der Konturen und Ausnutzung der Strahlen werden um so vollkommener, je dünner der Schichtenträger und je durchlässiger er ist. Die sogenannten Films, Schichtenträger aus dünner Folie von Lederkollodium, Celluloid oder Gelatine genügen beiden Bedingungen. Allerdings sind sie teuer und in der Behandlung nicht ganz einfach.

Ein anderer Weg zur besseren Ausnutzung der Platten führt über die Transformation der Röntgenstrahlen in eine Lichtwirkung mittels der fluorescierenden Substanzen. Der fluorescierende Schirm

wird mit seiner Schichtseite in Kontakt mit der Schichtseite der Platte gebracht und die auf ihm entstehende Lichtwirkung zersetzt dann in erster Linie die Bromsilberschicht. Außerdem kommen auch noch alle diejenigen Röntgenstrahlen chemisch zur Geltung, die den Leuchtschirm durchsetzen und von der empfindlichen Schicht absorbiert werden.

Da nur die blauen Lichtstrahlen vorzüglich von chemischer Wirkung sind, so eignet sich ohne weiteres das intensiv grün-fluorescierende Bariumplatincyanür für „Verstärkungsschirme" wenig. Dagegen geben besonders präparierte, sog. „farbenempfindliche" Platten mit ihm gute Resultate. Ihre Schicht enthält einen Farbstoff, der auch die grünen Lichtstrahlen absorbiert und photographisch zur Geltung bringt.

Heute hat man wohl allgemein den Gebrauch der teueren farbenempfindlichen Platten aufgegeben und benutzt ausschließlich das blau leuchtende wolframsaure Calcium zu Verstärkungsschirmen. In zweckmäßiger Weise wird die fluorescierende Schicht im Inneren einer der bereits auf Seite 174 erwähnten Spezialkassetten so angebracht, daß die eingelegte Platte durch Federn fest mit ihrer empfindlichen Seite gegen die Leuchtschicht angedrückt wird. Die Reihenfolge der einzelnen Teile von der Röhre aus gerechnet ist dann folgende:

Röhre,
Pappdeckel der Kassette oder Emballage der Platte,
Leuchtschirm,
Empfindliche Schicht (der Leuchtschicht fest anliegend),
Schichtträger.

Leider leuchtet das wolframsaure Calcium, obgleich es, wie man sich durch Hinterhalten eines zweiten Leuchtschirmes überzeugen kann, einen nicht unbeträchtlichen Strahlungsbetrag absorbiert, nur schwach. Es ist deshalb zu erwägen, ob es nicht unter Umständen vorteilhafter sein kann, die Stellung von Verstärkungsschirm und Platte miteinander zu vertauschen, d. h. so zu wählen, daß die Strahlen zuerst die empfindliche Schicht durchdringen und dann den Leuchtschirm treffen. Ohne Frage kommt dann die Strahlung zunächst auf die Schicht voll zur Geltung, und der nicht aufgenommene und auf den Leuchtschirm übergehende Betrag wird zum großen Teil als Licht auf die Platte zurückgeworfen. Die Reihenfolge ändert sich dann folgendermaßen:

Röhre,
Pappdeckel der Kassette, bezgl. Emballage der Platte,

Schichtträger,
Empfindliche Schicht der Platte,
Leuchtschicht.

Es versteht sich, daß der Schichtträger dann nicht Glas [illegible] darf, sondern ein Material, das die Röntgenstrahlen ungehindert passieren läßt, also z. B. eine Filmplatte.

Mit recht gutem Erfolg kann man bei dieser Anordnung jedoch auch statt der Platte Bromsilberpapier anwenden und hat dann den Vorteil, sogleich ein fertiges Papierbild, allerdings ein Negativ, zu haben, dessen Kontraste jedoch infolge des matt hindurchschimmernden Papieruntergrundes besonders nach der Verstärkung, die wie bei jeder gewöhnlichen Platte vorgenommen wird, sehr rein und tief sind. Zudem ist das Verfahren ein relativ billiges und, da die Expositionszeit für Bromsilberpapier mit Leuchtschirm nicht größer ist, als für eine gewöhnliche Platte ohne Leuchtschirm, gewiß in sehr vielen Fällen vorteilhaft anzuwenden.

Die höchste Energieausbeute läßt sich natürlich durch eine dünne, zwischen zwei Leuchtschirmen liegende und doppelt begossene Filmplatte erreichen. Die Reihenfolge, in der die Röntgenstrahlen die Anordnung durchdringen, ist in diesem Falle:

Pappdeckel der Kassette,
Leuchtschicht I,
Empfindliche Schicht I,
Schichtträger,
Empfindliche Schicht II,
Leuchtschicht II.

Aber auch eine derartige Anordnung läßt noch immer Röntgenstrahlen unausgenützt hindurch, wie ein hinter die Schichten gehaltener Leuchtschirm lehrt. Immerhin muß die Ausnutzung eine relativ vollkommene genannt werden. Die Expositionszeit wird durch sie auf den 4. bis 5. Teil, bei Benutzung nur eines Verstärkungsschirms auf etwa den 3. bis 4. Teil gegen eine gewöhnliche Platte abgekürzt. Nicht unerwähnt darf bleiben, daß durch einen Verstärkungsschirm viel von der Schärfe der Aufnahme verloren geht, doch wird dieselbe bei größeren Objekten zu einfachen diagnostischen Zwecken hinreichend sein.

Fig. 136 stellt eine Brustkastenaufnahme dar, die zur Hälfte mit Verstärkungsschirm, zur anderen Hälfte ohne Verstärkungsschirm erzielt wurde.

Auch an Versuchen hat es nicht gefehlt, fluorescierende Sub-

Nach dem Tonen werden die Bilder unter fließendem Wasser gründlich gewaschen (mindestens 45 Minuten lang) und dann mit Holzklammern an einer Schnur zum Trocknen aufgehängt.

Zum Aufkleben auf Karton schneidet man die trockenen Bilder mit einem scharfen Messer auf einer harten Unterlage (Zinkplatte) in das gewünschte Format, zieht sie dann durch Wasser, trocknet mit Fließpapier ab und klebt sie mit Stärkekleister noch feucht auf den Karton. Die Ränder müssen unter Zwischenlage von dünner Glanzpappe besonders gut angedrückt werden.

Positive auf Entwicklungspapieren.

Sollen Abzüge von einer Platte besonders schnell und unabhängig vom Tageslicht gemacht werden, so kann man sie mit gutem Erfolg auf Bromsilberpapier oder sonst einem der bekannten Entwicklungspapiere anfertigen. Nur ersteres erfordert wegen seiner hohen Empfindlichkeit eine Behandlung in der Dunkelkammer bei rotem Licht.

Das Bromsilberpapier wird im Kopierrahmen mit der mattglänzenden Schicht auf die Platte gelegt und dann bei dem Licht einer Kerze oder einer Gasflamme exponiert. Die Exposition dauert nur kurze Zeit, bei einem gewöhnlichen Gasschnittbrenner in einer Entfernung von 1 Meter etwa 8—15 Sekunden.

Die Kopie wird dann ganz wie eine photographische Platte behandelt und in einem der auf Seite 197—198 angegebenen Entwickler hervorgerufen. Es ist ratsam, den Entwickler etwas mehr mit Wasser zu verdünnen und einige Tropfen Bromkalilösung (1 : 10) hinzuzufügen.

Das Bild erscheint gewöhnlich rasch und erreicht bald die erforderliche Kraft. Man betrachtet es in der Aufsicht und unterbricht, da die Kopie im Fixierbade nicht zurückgeht, die Entwicklung, sobald die Zeichnung in den Lichtern erschienen ist. Die Fixage und weitere Behandlung erfolgt dann weiter wie bei jeder Platte. Hat das Bild einen gelblichen Ton angenommen, so kann dieser leicht durch Baden in einer konzentrierten Kochsalzlösung entfernt werden.

Um das Rollen der Kopien zu vermeiden, trocknet man sie zwischen Fließpapier unter leichtem Druck. Hinsichtlich der Schärfe der Zeichnung halten die Bromsilberkopien etwa die Mitte zwischen den Eisen- und Celloidinkopien inne.

Ganz ähnlich wie das Bromsilberpapier werden die anderen Entwicklungspapiere, Velox, Lukas, Lenta, Riepos-Tardo, Tula und

wie sie alle heißen mögen, behandelt, nur daß man ihrer geringen Empfindlichkeit wegen des roten Lichtes entraten kann. Eine Dunkelkammer ist also nicht erforderlich. Man legt das Papier einige Meter von einer Kerze entfernt in den Kopierrahmen ein und entwickelt ebenfalls bei Kerzenlicht, was in unmittelbarer Nähe geschehen kann, wenn die Kerze mit gelbem Packpapier umstellt ist. Je nach der Art des Papieres dauert die Exposition, nahe bei einem Gasglühlichtbrenner, wenige Sekunden bis einige Minuten. Oft findet man ein- und dasselbe Papier auch in mehreren Sorten. Dann arbeitet stets das langsamere Papier auch am härtesten, d. h. es hebt die Helligkeitsunterschiede der Platte mehr heraus. Im Gegensatz zu den Bromsilberpapieren sei der Entwickler nur wenig verdünnt (z. B. Rodinal 1 : 15), der Bromkalizusatz reichlicher, da so sonst die Weißen der Kopie leicht grau werden. Das Bild schießt dann sofort hervor und ist meist in wenigen Sekunden ausentwickelt.

Durch Verzögerungen beim Einbringen der Kopie in das Fixierbad entstehen leicht gelbe Flecke. Man nehme daher das Bild schnell aus dem Entwickler, tauche es einen Augenblick in Wasser und werfe es dann sofort in das saure Fixiernatron, wo es ganz untertauchen muß. Weiterhin wird das Bild ebenso behandelt, wie eine Bromsilberkopie.

Diapositive für Projektion.

Insbesondere der wissenschaftlich arbeitende Arzt wird oft den Wunsch haben, seine Aufnahmen mittels des Skioptikons zu projizieren. Das Format der Projektionsbilder ist in England 8×8 cm, in Deutschland $8^1/_2 \times 10$ cm, seltener 9×12 cm, sehr selten 12×12 oder gar 13×13 cm. Welches Format man auch wählen mag, immer wird man vor der Aufgabe stehen, das Orginal-Negativ zu verkleinern. Dies geschieht am einfachsten auf folgende Art: Man verhängt ein Fenster, das möglichst auf eine homogen gestrichene und gleichmäßig beleuchtete Wand hinausgeht, so gut es sich machen läßt, bis auf die Größe des zu reproduzierenden Plattenformates. Der Öffnung gegenüber stellt man einen photographischen Apparat auf, der später die Diapositivplatte aufnehmen soll. Man sorgt dafür, daß er sich genau in der Höhe des Ausschnittes befindet. Vor dem Ausschnitt befestigt man an der Fensterscheibe die Röntgenplatte, sehr zweckmäßig mit Wachs, stellt den Apparat scharf auf sie ein, blendet stark ab und exponiert die Diapositivplatte.

Die im Handel erhältlichen Diapositivplatten haben eine Brom-Chlorsilber-Emulsion, sind unempfindlicher als die gewöhnlichen

Platten, erfordern jedoch eine Behandlung in der Dunkelkammer bei rotem Licht. Die Exposition dauert, je nach den Umständen, einige Sekunden bis Minuten. Zur Entwicklung verwendet man sehr gut Rodinal in der Verdünnung 1 : 20. Das Bild kommt schnell und kräftigt sich bald. Man entwickelt so lange, bis es in der Durchsicht reichlich dicht erscheint. Darauf wird in bekannter Weise fixiert und gewaschen. Waren Exposition und Entwicklung richtig, so ist das Bild — ein gutes Negativ vorausgesetzt — kräftig, in den höchsten Spitzlichtern offen und glasklar. Graue Reproduktionen deuten darauf hin, daß entweder die Exposition falsch, die Diapositivplatte zu alt war oder daß neben dem Negativ vom Fenster her Licht in den Aufnahmeapparat drang.

Ist die Platte getrocknet, so klebt man das Bild ringsherum mit einer Papiermaske ab, schützt die Schichtseite mit einer Deckplatte und umklebt die Ränder des Diapositivs mit schwarzen Papierstreifen. Der Ordnung halber darf, wie bei einem mikroskopischen Dauerpräparat, Nummer und Bezeichnung des Gegenstandes nicht fehlen.[1])

In der folgenden Tabelle findet der Leser eine Zusammenstellung derjenigen Fehler, welche am häufigsten das Mißlingen einer Aufnahme verschulden.

Zeichen	Ursache	Abhilfe
1. Das Negativ zeigt hellere, unregelmäßig umgrenzte Flecke.	Der Entwickler hat die Platte nicht mit einem Schlage bedeckt.	Reichlicher Entwickler.
2. Das Negativ ist mit einem metallischen Schleier bedeckt.	Der Entwickler war mit Fixiernatron verunreinigt.	Kurzes Bad in folgender Lösung: Fixiernatron 40 g, Wasser 200 g, von konzentr. Blutlaugensalzlösung 30 Tropfen.
3. Nadelstichartige, helle Punkte auf der Platte.	Die Platte war verstaubt.	Abstauben der Platte vor dem Einlegen in die Kassette mit einem weichen Pinsel.
4. Das Negativ ist undurchsichtig und kontrastlos.	Überexposition.	Wie unter 2.
5. Negativ schwach, aber klar durchsichtig ohne Details.	Unterexposition.	Verstärkung, wenn auf Seite 200 angegebene Bedingungen zutreffen.

[1]) Näheres findet man in dem „Lehrbuch der Projektion“ von Neu- (Halle, bei Knapp).

Zeichen	Ursache	Abhilfe
6. Negativ in der Anlage kontrastreich, aber stark gedeckt.	Überentwicklung.	Bad: Lösung I: 100 g unterschwefligsaures Natron, 500 g Wasser. Lösung II: 10 g rotes Blutlaugensalz, 50 g destill. Wasser. 100 Teile I, 5 Teile II.
7. Rückseite der Platte zeigt weiße Stellen, die in der Durchsicht dunkel erscheinen.	Ungenügende Fixage.	Zurückbringen in das Fixierbad bezügl. Verstärkung desselben.
8. Negativ zeigt dunkle Streifen.	Plattenkasten oder Kassette undicht.	
9. Platte griesig, stark gekörnt.	Emulsion zu alt und schon zersetzt.	
10. Die Platte zeigt zwei verschieden belichtete Teile.	Falsche Röhrenstellung zur Platte, so daß die Antikathode einen Schatten warf.	Stellung der Röhre nach S. 175.

IX. Abschnitt.

Über die Natur der Röntgenstrahlen.

Das Gebiet der elektrischen Entladungen, worunter hier einchränkend nur die Erscheinungen im luftverdünnten Raume veranden sein sollen, ist eines der interessantesten, aber leider auch ıes der dunkelsten der Physik. Nach wie vor ist fast alles hier mutung und Theorie. Auch über der Röntgenstrahlenerschei-; ruht noch immer der alte, undurchdringliche Schleier, der ...stens hie und da ein wenig gelüftet worden ist, ohne aber den ick immer in der gewünschten Richtung frei zu machen. Bei uer Hochflut einander zum Teil widersprechender Untersuchungen und Arbeiten über den Gegenstand gehört eine Sichtung und Gruppierung des Materials zu den schwierigen Dingen. Vollends einer passenden Auswahl des Stoffes zum Zwecke einer gemeinverständlichen Darstellung der Forschungsergebnisse, wie wir sie im folgenden zu geben beabsichtigen, treten fast unüberwindliche Schwierigkeiten entgegen. Der Leser möge das Gebotene daher nur als einen wohlgemeinten Versuch betrachten.

Dem Laien erscheint die materiedurchdringende Kraft der Röntgenstrahlen als das Wesentlichste an ihnen. Nicht so dem Physiker. Für ihn liegt, wie wir weiterhin auseinandersetzen werden, das Problem an anderer Stelle. Unsichtbare, mit Durchdringungskraft begabte Strahlen kannte er bereits vor der Röntgenschen Entdeckung, sie waren ihm an sich nichts Neues. Gehören doch die ultraroten Strahlen und die Strahlen elektrischer Kraft dieser Kategorie an. Wir möchten den Leser bitten, sich zunächst der vor Röntgen schon bekannten Strahlengruppen zu erinnern.

Die Zerlegung des Lichtes in seine Farbenbestandteile mit Hilfe des Prismas liefert den Farbenfächer, dessen reine Pracht man am vollständigsten an dem Spektrum der Sonne und dem des elektrischen Bogenlichtes bewundern kann. Der rote Lichtstrahl wird durch das Prisma am wenigsten aus seiner Richtung abgelenkt, mehr

schon der gelbe und grüne, am meisten der blaue und violette. So kommt es, daß die im weißen Lichtstrahle vor dem Prisma gemischt enthaltenen Farbenstrahlen hinter demselben nebeneinander erscheinen. Diese Dispersion der Farben wird besonders interessant durch die Anschauungen, die man sich über die Natur des Lichtes gebildet hat.

Heutzutage hat man die Newtonsche Emissions- oder Emanationstheorie (1669), welche das Licht als einen Stoff ansah, dessen Teilchen von dem lichtspendenden Körper mit einer enormen Geschwindigkeit in den Raum hinausgeschleudert werden, ganz aufgegeben und hält es allgemein mit der Huygensschen Undulationstheorie (1678), deren Wesen sich in der Tat den Beobachtungsergebnissen am ehesten anschmiegt. Diese Theorie nennt das Licht eine Wellenbewegung des Äthers, eines hypothetischen, äußerst feinen, für uns unwägbaren Stoffes, mit dem wir uns ebenso die Räume zwischen den Gestirnen wie zwischen den Molekülen der Körper angefüllt denken müssen. Von der Erregerstelle geht eine Störung der ruhenden Ätherteilchen aus, diese pflanzt sich nach allen Seiten als Welle fort (etwa wie eine Flüssigkeitswelle auf einem durch einen Steinwurf gestörten Wasserspiegel) und brandet schließlich an die Netzhaut des Auges, um hier eine von uns Licht genannte Empfindung auszulösen. Dabei verlassen die Ätherteilchen ihren Platz nicht etwa in der Fortpflanzungsrichtung, sondern führen lediglich eine Auf- und Ab-, Hin- und Herbewegung aus, ganz ähnlich wiederum wie die Partikelchen einer Wasserwelle oder die Halme eines wellenschlagenden Ährenfeldes. Aber diese Undulation der Lichtätheratome ist eine enorm frequente, sie besteht aus mehreren hundert Billionen Schwingungen in einer Sekunde und die, durch die Wechselwirkung zwischen den Atomen erzeugte Bewegungserscheinung schreitet mit einer Geschwindigkeit von 300000 km in der Sekunde durch den Raum fort. Der Quotient aus Fortpflanzungsgeschwindigkeit und Schwingungszahl ergibt die Länge der Lichtwellen in Bruchteilen eines tausendstel Millimeters. Das menschliche Auge ist in wunderbarer Weise befähigt, diese feinsten Unterschiede in den Wellenlängen und in den Schwingungszahlen nachzuweisen und als Farben zu empfinden. Etwa 450 Billionen Ätherschwingungen erzeugen auf der Netzhaut den Eindruck des tiefen Purpurrots, 800 Billionen Schwingungen, also etwa das Doppelte, die Empfindung violetten Lichtes. Dazwischen liegt die ganze Farbenskala, wie wir sie im Spektrum sehen, vom Rot über Orange, Gelb, Grün, Blau und Vio-

lett. Ziehen wir einen Vergleich aus dem Gebiet der Töne heran, so übersieht das Auge also nicht ganz eine Lichtoktave.

Es fragt sich nun, ob außer dieser Oktave sonst noch Ätherschwingungen langsamerer oder schnellerer Art existieren, oder mit anderen Worten, ob nicht das von unserem Auge als Licht aufgefaßte Gebiet von 450—800 Schwingungsbillionen nur einen kleinen Ausschnitt aus einer weiten Skala darstellt, deren Schwingungen, wennschon sie den Sinnen unmittelbar verschlossen sind, doch nicht zwecklos verlaufen. In der Tat gibt es noch eine ganze Reihe von Strahlen jenseit des Rot sowohl, wie jenseit des Violett.

Von der chemischen Wirksamkeit der ultravioletten Strahlen wurde bereits gesprochen (Seite 169). Wir nahmen wahr, daß sich eine photographische Platte auch hinter dem dunkelsten Violett des Spektrums noch lebhaft schwärzt. Auch durch den Barium-Platincyanürschirm, welcher von den ultravioletten Strahlen lebhaft zum Leuchten gebracht wird, kann man das Vorhandensein dieser unsichtbaren Strahlung nachweisen. Man sieht dann das Spektrum auf dem Schirm über das Violett noch um ein nicht unbeträchtliches Stück verlängert.

Dagegen zeigt sich jenseit des Rot auf der photographischen Platte keinerlei Wirkung, ja auch das Rot selbst und zum Teil auch das Gelb hinterlassen auf ihr kaum noch einen Eindruck. Die ultraroten Strahlen unterscheiden sich also wesentlich von den ultravioletten durch ihre Unfähigkeit, chemische Zersetzungen hervorzubringen. Dafür besitzen sie eine Wärmewirkung. Schon der berühmte Astronom Herschel führte, von den violetten Strahlen beginnend, ein Thermometer dem Spektrum entlang und entdeckte eine stetig zunehmende Wärmestrahlung, die mit dem letzten sichtbaren Rot nicht aufhörte, sondern vielmehr weit über dasselbe hinaus nachzuweisen war (1800).

Liegen also hinter dem Lichtspektrum, in einem dem Auge nicht mehr sichtbaren Schwingungsgebiet, die Strahlen chemischer Wirksamkeit, so sind vor demselben unterhalb der 450. Schwingungsbillion die Wärmestrahlen zu finden, die, nach unserer Ausdrucksweise, dem Auge noch nicht sichtbar sind. Erstere sind mithin kurzwelliger, letztere langwelliger als die Lichtstrahlen.

Einer besonderen Eigenschaft der Wärmestrahlen muß an dieser Stelle gedacht werden, nämlich ihrer Fähigkeit, das Licht phosphoreszierender Substanzen, z. B. das blaue Leuchten der bekannten Balmainschen Farbe, anzufachen, besonders deshalb, weil diese

Wirkung auch durch dickere Platten von Ebonit zustande kommt. Wir begegnen also hier bereits einer unsichtbaren, mit einer Durchdringungskraft für undurchsichtige Materie begabten Strahlenart, charakteristischen Eigenschaften also, die man gern bereit ist, den Röntgenstrahlen allein beizulegen.

Nach den Untersuchungen von Perrigot und Becquerel[1]) ist auch das sogenannte „schwarze Licht" (la lumière noire) des Franzosen Le Bon — übrigens eine recht unglückliche und unphysikalische Bezeichnung, denn von einem unsichtbaren (schwarzen) Licht kann begreiflicherweise nicht gesprochen werden — nichts anderes als eine ultrarote Strahlung. Bekanntlich machte die Entdeckung Le Bons seinerzeit — allerdings mehr in Laienkreisen — einiges Aufsehen.

Nachdem die Wärmewellen ihr Energiemaximum überschritten haben, werden sie schnell schwächer, immerhin aber kann man sie noch bis zur zwanzigfachen Länge der roten Lichtwellen und weiter nachweisen. Dann folgt ein unbekanntes Gebiet. Schließlich treten, von einem Prisma noch weniger aus ihrer Bahn gelenkt als die Wärmestrahlen, die Strahlen elektrischer Kraft auf. Denn auch die Fortpflanzung der elektrischen Wirkungen im Raum erfolgt mit Hilfe des Äthers in Form von Wellenstrahlen, wie es zuerst, in Verfolg der Maxwellschen rein theoretisch-mathematischen Arbeiten, der geniale früh verstorbene Heinrich Hertz[2]) auch experimentell nachwies. Leider ist es uns versagt, auf die epochemachenden Versuche auch nur andeutungsweise einzugehen. Hier nur soviel, daß auch die elektrischen Strahlen in hohem Maße fähig sind, Körper zu durchdringen. Holz- und Mauerteile bieten ihnen beispielsweise keinen nennenswerten Widerstand und nur Metalle halten sie auf.

Während die größten Wärmewellen immerhin nur etwa eine Länge von 0,06 mm haben,[3]) sind die kürzesten nachweisbaren elektrischen Wellen schon bereits einige Millimeter lang. Von beiden Seiten her wird eifrig an der weiteren Aufschließung dieser interessanten Gebiete gearbeitet; man weist immer kleinere elektrische Wellen, immer größere Wärmewellen nach, und es gewinnt den Anschein, als ob wirklich irgendwo beide Gebiete des Naturgeschehens unmerklich ineinander übergehen sollten, ohne noch einer anderen, bisher unbekannten Strahlungsart zwischen sich Raum

[1]) Perrigot und Becquerel. Beiblätter der Wiedemannschen Annalen 21. 1897.

[2]) H. Hertz. Ausbreitung d. elektrischer Kraft. Wied. Ann. 36, 1888.

[3]) Nach den Untersuchungen von Rubens.

zu gewähren. Diese Vermutung wird gestützt durch die Arbeiten Blondlots, der in den Strahlen des Auerlichtbrenners eine Strahlung fand, die sowohl von den Eigenschaften der Wärmewellen wie der elektrischen Wellen eine ganze Reihe besitzt und sich somit zwanglos einer der fünf bisher unerforschten Oktaven zwischen den genannten Wellengattungen einreihen dürfte.[1]) Die Blondlotschen *n*-Strahlen (so genannt nach der Universität Nancy, an der sie entdeckt wurden) verlaufen dem Auge unsichtbar, sie durchdringen dünne Schichten von Papier, Holz, Messing, Kupfer, Glimmer, Glas u. s. w., werden jedoch beispielsweise von Steinsalz, Blei, Platin und Wasser zurückgehalten. Man könnte daher versucht sein, sie für röntgenstrahlenähnlich zu halten, wenn sie sich nicht in ganz wesentlichen Punkten von diesen unterschieden. Sie sind nämlich durch Quarzlinsen brechbar, sind unfähig, chemische Wirkungen hervorzubringen und erregen auch keine Fluorescenz. Sagnac findet ihre Wellenlänge zu 0,2 mm, also etwa viermal so groß, wie die von Rubens ebenfalls im Auerlicht nachgewiesenen langen Wärmewellen.[2])

Die Entdeckung der *n*-Strahlen geschah mit Hilfe einer kleinen elektrischen Funkenstrecke, deren Intensität im Brennpunkt des Strahlenkegels zunahm. Späterhin wies Blondlot nach, daß auch eine kleine blau brennende Gasflamme unter dem Einfluß der *n*-Strahlen ihre Leuchtkraft ändert. Damit entkräftete er zugleich die Vermutung, es könne sich um einen rein elektrischen Vorgang handeln.[3]) Schließlich fand er, daß die *n*-Strahlung eine ganz allgemein verbreitete Eigenschaft glühender Körper sei und auch im Sonnenlicht nicht fehle.[4])[5])

Damit steht uns nunmehr eine ganze Musterkarte von Strahlen, geordnet nach ihrer Brechbarkeit, ihrer Schwingungszahl und ihrer Wellenlänge, zur Verfügung. Zunächst, als die langsamst schwingenden, die Wellen und Strahlen elektrischer Kraft; ihre Wellenlänge variiert zwischen mehreren Metern und einigen Millimetern, ihre Schwingungszahlen, während sie gleichsam die elektrische Tonleiter durchlaufen, von einigen Millionen bis zu etwa 80 Milliarden in der Sekunde.

---

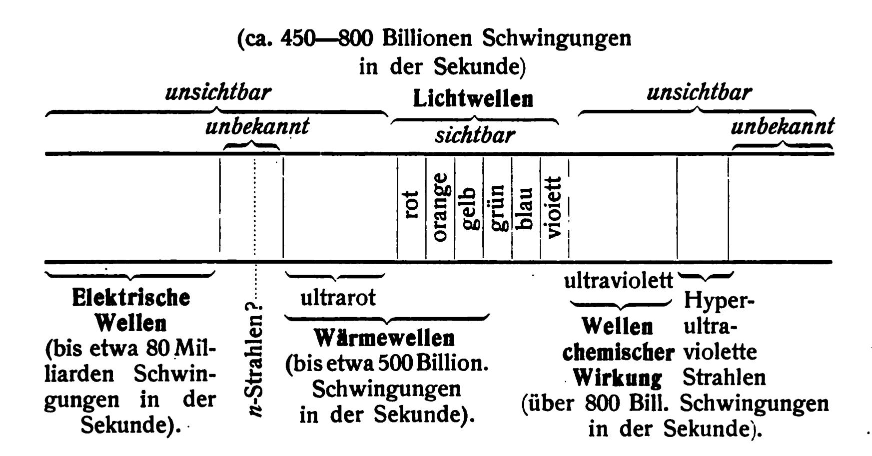
[1]) R. Blondlot (Ref. Naturw. Rundschau, S. 319, 1903).

[2]) G. Sagnac, Comptes rendus, t. CXXXVI S. 1435, 1903.

[3]) R. Blondlot, Comptes rendus, t. CXXXVI S. 1227, 1903 (Ref. Naturw. Rundschau, XVIII. Jahrg. No. 30, S. 382, 1903).

[4]) Derselbe, Comptes rendus, t. CXXXVI S. 1421, 1903 (Ref. Naturw. Rundschau, XVIII. Jahrg. No. 35, S. 452, 1903).

[5]) Verf. vermochte die Blondlotschen Versuche bisher nicht zu bestätigen.



Spektrum der Ätherschwingungen.

Weiter folgen dann, durch ein noch unerforschtes Gebiet (dem vielleicht die *n*-Strahlen angehören) von den Strahlen elektrischer Kraft getrennt, die Wärmestrahlen, darauf, bereits in der 450 bis 800 sten Schwingungsbillion und zum Teil auf zwei unserer Sinne gleichzeitig, auf das Gefühl als Wärme und auf das Gesicht als Licht einwirkend, die Lichtstrahlen. Mit den Strahlen chemischer Wirksamkeit, welche enorme Schwingungszahlen (über 800 Billionen in der Sekunde) und kürzeste Wellenlängen (0,4 Tausendstel Millimeter und weniger) besitzen, schließt die Reihe der uns bekannten Atherschwingungen jedoch noch nicht ab. Hertz entdeckte noch schnellere, kurzwelligere Strahlen, die man als hyperultraviolette bezeichnen kann. Sie zeichnen sich durch ihren Einfluß auf das Zustandekommen elektrischer Entladungen aus.

Das Ätherwellenspektrum reicht somit von den relativ langsam schwingenden elektrischen bis zu den äußerst frequenten ultravioletten und hyperultravioletten Strahlen. Nach den Röntgenstrahlen sucht man jedoch vergebens. Das Prisma, welches allen Ätherstrahlen ihre Plätze anweist, versagt den Röntgenstrahlen gegenüber völlig, es ist auf ihre geradlinige Ausbreitung auch nicht von geringstem nachweisbaren Einfluß. Die Wissenschaft steht daher vor der Erledigung folgender Fragen: Sind die Röntgenstrahlen überhaupt ein Vorgang im Äther, wenn ja, welche Modifikationen gegenüber den schon bekannten Ätherwellen veranlassen den Mangel an Brechbarkeit, oder endlich: besteht das Röntgenstrahlenphänomen

vielleicht lediglich in einer geradlinigen Emission ponderabler oder imponderabler Materie? — Einstweilen kann eine Entscheidung mit Sicherheit noch nicht getroffen werden, doch neigt man, wie wir später auseinandersetzen werden, mehr und mehr der Ätherhypothese zu.

Während somit auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen noch vieles recht unklar erscheint, ist man über die

Kathodenstrahlen

ziemlich genau unterrichtet. Mit den Röntgenstrahlen geht zugleich Energie in den Raum hinaus, die fraglos zunächst von der Kathodenstrahlung gedeckt wird. Kathodenstrahlen und Röntgenstrahlen stehen also miteinander in ursächlichem Zusammenhang. Es möge gestattet sein, auf die Kathodenstrahlung etwas näher einzugehen.

Hittorf (1869) wies als erster auf die sonderbare Strahlung hin, die sich, von der Kathode aus, in einem hochgradig luftverdünnten Raume geradlinig erstreckt, unbeeinflußt in ihrer Richtung von der Lage der Anode. Er bemerkte auch die Starrheit dieser Kathodenstrahlung gegenüber dem positiven Licht, das sich allen Biegungen und Windungen des Vakuumrohres anschmiegt. Über die Form beider Entladungen konnten wir im Abschnitt V auf Seite 99 den Leser bereits orientieren.

Wir setzten auch bereits auseinander, daß die Strahlen — (eigentlich erst von Goldstein, dem die Wissenschaft hervorragende Arbeiten über diesen Gegenstand verdankt, Kathodenstrahlen genannt) — dort, wo sie auf die Glaswand treffen, ein intensives Fluorescenzlicht erzeugen und daß sie, von einem Hindernis aufgehalten, einen Schatten desselben entwerfen. Hittorf sagt darüber bereits 1869:

„Jeder feste oder flüssige Körper, er sei Isolator oder Leiter, welcher vor der Kathode sich befindet, begrenzt das Glimmlicht[1]) . . . . . Wir werden daher im folgenden von den geradlinigen Bahnen oder den Strahlen des Glimmens sprechen . . ."

So wirft auch das kleine Platinblech, welches in Fig. 69 D in den Gang der Strahlung tritt, ein einem optischen Schatten ähnliches Gebilde auf die gegenüberliegende Glaswand. Dies Schattenbild ist ein umgekehrtes, wenn der Gegenstand vor dem Brenn-

[1]) Hittorf nennt die Kathodenstrahlen noch Glimmlicht, während wir heute unter Glimmlicht eine andere Erscheinung verstehen (vergl. Seite 99 und 160).

punkt des Kathodenhohlspiegels, ein aufrechtes, wenn er hinter demselben liegt. L. Weber und Matthiessen bestritten dies, indem sie bemerkten, daß eine Kreuzung der Kathodenstrahlen im sogenannten Brennpunkt gar nicht vorliege. Sie folgerten vielmehr aus der Lage der von ihnen beobachteten Schattenbilder, daß die Kathodenstrahlen bis zum Brennpunkt konvergent verlaufen, darauf sich aber nicht kreuzen, sondern sich vielmehr zu einem divergenten Strahlenbündel abstoßen. Neuere Versuche lassen es wahrscheinlich erscheinen, daß die Genannten bei Drucken gearbeitet haben, bei welchem bereits der Brennpunkt außerhalb des Beobachtungsrohres gefallen sein muß (vergl. Seite 103). Wenigstens haben andere Untersuchungen stets sowohl aufrechte wie umgekehrte Bilder geliefert.

Nach Hittorf, dem das wissenschaftliche Verdienst, die Kathodenstrahlen zuerst beobachtet und beschrieben zu haben, erhalten bleibt, hat es hauptsächlich William Crookes verstanden, durch vorzügliche Demonstrationen auf weitere Kreise zu wirken, indem er gleichzeitig die älteren Theorien von Faraday,[1]) Plücker,[2]) Hittorf[3]) und G. Wiedemann[4]) aufnahm und in eine so sinnfällige, gemeinverständliche Form kleidete, daß sich selbst hervorragende Physiker dem Eindruck seiner Versuche nicht entziehen konnten.

Crookes Theorie über die „strahlende Materie", wie bereits Faraday die Entladungserscheinungen genannt hatte, ist ebenso wie die der vorgenannten Gelehrten eine Korpuskulartheorie,[5]) d. h. eine Theorie, der es widerstrebt, angesichts des vorhandenen Stromdurchganges durch die Röhre an das Vorhandensein eines absolut materieleeren Raumes in derselben zu glauben oder gar die Vermittlung des Stromüberganges mit Hilfe des auch in einer luftleeren Röhre vorhandenen Äthers anzunehmen. „Es wird hoffentlich kein Mensch behauptet haben, daß ein leerer Raum ein leitender Körper sein könne", ruft ein Fachmann aus, welcher die Ansicht Cuthbertsons teilt. Die Molekulartheorie geht also dahin, daß innerhalb des Vakuumrohres eine ponderabele Materie vorhanden sein müsse, „kleinste Teilchen", die, mit dem elektrischen Fluid

---

[1]) Faraday, Experimentaluntersuchungen III. 1848.

[2]) Plücker, Poggendorfs Annalen **113**, 251, 1861.

[3]) Hittorf, Poggendorfs Annalen **136**, 220, 1869.

[4]) G. Wiedemann, Poggendorfs Annalen **145**, 394, 1872. **158**, 252, 1876.

[5]) Crookes „Strahlende Materie oder der vierte Aggregatzustand", Vortrag vor der Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften (London), deutsch im Verlag von Quandt & Händel, Leipzig 1879.

gleichsam beladen, eine schnelle Wanderung durch den luftverdünnten Raum antreten, etwa so, wie auch erhitzte und bewegte Luftteilchen einen Wärmetransport ausführen können.

Eine Vorstellung nun von der Art der „kleinsten Teilchen" sucht sich Crookes zu machen, indem er sich dabei — leider — in Fernen verliert, zu denen ihm die exakte Wissenschaft nicht zu folgen vermag. Crookes ist nicht nur Forscher und Gelehrter, sondern auch etwas Phantast, aber seine Sprache hat etwas Überzeugendes, Bezwingendes. Man höre:

„Diese Erscheinungen (Entladungen in hochverdünnten Gasen) sind so verschieden von allem, was sich bei gewöhnlichem Drucke in Luft oder Gas — — ereignet, daß wir zu der Annahme geführt werden, wir stehen hier der Materie in einem vierten Aggregatzustande gegenüber, der ebensoweit vom gasförmigen entfernt ist, als dieser vom flüssigen." — „Hier", so fährt er später fort, „scheinen wir endlich unter unseren Händen und im Bereich unserer Prüfung die kleinen, unteilbaren Teilchen zu haben, von denen man voraussetzt, daß sie die physikalische Grundlage des Weltalls bilden. — — Wir haben tatsächlich das Grenzgebiet berührt, wo Materie und Kraft ineinander überzugehen scheinen, das Schattenreich zwischen Bekanntem und Unbekanntem, welches für mich immer besondere Reize gehabt hat. — — Hier, so scheint mir's, liegen letzte Realitäten."

Crookes nimmt also in dem hochevakuierten Rohre einen „übergasigen" Zustand an, den er als einen vierten Aggregatzustand bezeichnet. Dieser zeigt die kleinsten Teilchen fortdauernd in rasendem Tanze begriffen und von der Kathode geradlinig abgeschleudert der gegenüberliegenden Glaswand zu. Unter diesem „Bombardement der Moleküle" erhitzt sich die Glaswand, sie fluoresciert und es treten alle diejenigen Erscheinungen auf, welche man unter dem Einfluß der Kathodenstrahlen beobachtet.

Soweit die Erklärung Crookes's. Die experimentellen Beweise, welche er für die Richtigkeit seiner Theorie zu geben suchte, hatten allerdings etwas Bestechendes an sich. So setzte er innerhalb des Vakuumrohres kleine Windmühlen mit leichten Glimmerflügeln durch die Kathodenstrahlen in Bewegung, oder er trieb kleine Laufrädchen, eben durch dies Bombardement der Moleküle von der Kathode aus der Anode zu u. s. f. Aber so überzeugend diese Experimente auch erscheinen, so wenig stichhaltig sind sie doch. Heute weiß man längst, daß die Crookesschen Rotationen als Abstoßungserscheinungen gleichnamiger elektrischer Ladungen aufzufassen sind. Auch

kann man leicht Rädchen konstruieren, die sich entgegengesetzt der Kathodenstrahlung drehen.

Lenard gebührt das Verdienst, eine Anordnung gefunden zu haben, mittels deren er die Kathodenstrahlen auch außerhalb der Röhre „in Freiheit“, d. h. in der atmosphärischen Luft beobachten konnte.[1]) Dieser Versuch setzt eine gewisse Durchdringungsfähigkeit der Kathodenstrahlen für feste Körper voraus, denn begreiflicherweise darf die Vakuumröhre nicht geöffnet werden. Lenard bediente sich eines kleinen „Fensters“ aus Aluminiumblech, das er in die Röhre dort einsetzte, wo sich sonst der von den Kathodenstrahlen erzeugte Fluorescenzfleck befindet. Durch das „Aluminiumfenster“ nun fanden die Kathodenstrahlen einen Weg ins Freie. Ihre Wirkung studierte Lenard an dem Aufleuchten der Luft und an photographischen Platten, deren Schicht sich gegen die austretende Strahlung empfindlich zeigte. Er selbst sagt:

„Ein Schimmer bläulichen Lichtes umgibt das Fenster; er ist am hellsten in der Nähe des Fensters selbst, nach außen hin ohne deutliche Begrenzung; weiter als 5 cm vom Fenster reicht er nicht. — — Phosphorescenzfähige Körper, in die Nähe des Fensters gehalten, leuchten an der ihm zugewandten Seite hell in dem ihnen eigentümlichen Lichte.“

„Trockenplatten mit Entwicklung sind auch in größerem Abstand vom Fenster nach wenigen Sekunden vollkommen geschwärzt. — — Die photographische Schicht kann bei langer Exposition auch sonst unbemerkbare Wirkungen zum Vorschein bringen. So zeigte sich z. B. kräftige Schwärzung hinter dem oben als undurchlässig bezeichneten Kartonblatt von 0,3 mm Dicke. Das Kartonblatt bedeckte die empfindliche Schicht und zwischen beide waren Streifen verschiedener Metallblätter eingelegt. Diese Streifen bildeten sich ganz nach Maßgabe ihrer Durchlässigkeit heller (im Negativ) auf dunklerem Grunde ab und ganz hell blieb die Schicht nur dort, wo ein dicker Metallrahmen über das Ganze gelegt war. Es waren also wirklich Kathodenstrahlen durch das dicke Kartonblatt gegangen.“

Wir konstatieren also hier eine, wenn auch nur unbedeutende Fähigkeit der äußeren Kathodenstrahlen, feste Körper zu durchdringen. Daß sie sich innerhalb der Röhre anders verhalten sollten, ist nicht anzunehmen. Und doch ist die Strahlung im Vakuum ganz anders als in der freien Luft. Da in ersterem nur noch wenige

---

[1]) Lenard, Wied. Ann. 51, 225, 1894 u. 63, 253, 1897.

Gasmoleküle vorhanden sind, läßt der Äther die Strahlung klar und scharf hindurch, wie etwa reines Quellwasser einen Sonnenstrahl. Überall zeigen sich in den Strahlenkegeln bestimmte Begrenzungen, und die schattenähnlichen Gebilde sind von hervorragend feiner Gliederung. Aber durch jedes Gasmolekül wird der Äther gleichsam getrübt und „verunreinigt". Das ist in höchstem Maße natürlich in der freien Luft der Fall, in der die Strahlung einem Lichtschein in einer milchigen Flüssigkeit gleicht.

Schon dies Verhalten legt die Vermutung nahe, daß man es bei der Kathodenstrahlung mit Vorgängen von äußerster Subtilität zu tun hat, da beispielsweise Lichtstrahlen in klarer, staubfreier Luft kaum eine nennenswerte Diffusion zeigen.

„Selbst gegen Licht von kleinster bekannter Wellenlänge verhält sich die Materie noch wie stetig den Raum erfüllend; den Kathodenstrahlen gegenüber ist dagegen das Verhalten selbst elementarer Gase das nicht homogener Medien; es scheint hier schon jedes Molekül als gesondertes Hindernis aufzutreten. Gasmoleküle trüben den Äther, und es ist bemerkenswert, daß hierbei keine anderen Eigenschaften der Moleküle in Betracht kommen, als allein nur ihre Masse. Die Gesamtmasse der in der Volumeneinheit enthaltenen Moleküle ist bestimmend für die Trübung des Mediums."

Lenard hielt also offenbar die Kathodenstrahlen für Vorgänge im Äther, und zwar weil er glaubte, daß bei den angewandten außerordentlich hohen Verdünnungsgraden nicht mehr genug Gasmoleküle vorhanden sein können, um eine den tatsächlich beobachteten Verhältnissen entsprechende Energiemenge in Form elektrischen Stromüberganges oder Wärme zu übertragen. Diese Äthertheorie der Kathodenstrahlen hat seinerzeit gewichtige Verfechter gehabt, so standen z. B. H. Hertz, H. v. Helmholtz, Eilhard Wiedemann, Goldstein, Jaumann u. a. auf ihrer Seite.

Die zum Teil heute aufgegebenen oder rektifizierten Einzelansichten der Genannten wiederzugeben, fehlt an dieser Stelle der Platz. Allen gemeinsam ist die Vorstellung einer Erzeugung der Kathodenstrahlen durch einen von der elektrischen Entladung auf den Äther herrührenden Stoß, der sich nun entweder als Transversalwelle oder Longitudinalwelle (erstere uns bereits [illegible] ihrem [illegible] nach bekannt, letztere aus fortschreitenden Verdichtungen [illegible] [illegible]dünnungen des Äthers bestehend) fortpflanzt.

[illegible]stein schrieb noch 1881: „Die Entladung stellt eine Be[illegible] des freien Äthers dar und ist an sich [illegible]. Diese Be[illegible] [illegible] Äthers verschwindet, indem sie sich den Gasmole-

külen . . . . mitteilt; die Teilchen eines jeden Moleküls . . . . schwingen dann und übertragen die so in ihnen erregten Transversalschwingungen wieder als solche auf den Äther; so wird die ursprünglich elektrische Bewegung zu Licht, und zwar zu Licht, dessen Oszillationsperioden abhängen von der spezifischen Natur des Gasmoleküls. Das Leuchten elektrisch durchströmter Gase sehe ich hiernach an als ein Resonanzphänomen."[1])

Einige Modifikationen forderte E. Wiedemann. So sah er unter anderem in dem positiven Licht eine longitudinale, in dem negativen (den Kathodenstrahlen) eine transversale Wellenbewegung des Äthers oder vielmehr der Ätherhüllen, von denen die Gasmoleküle eingeschlossen sind.[2]) Die Kathodenstrahlen waren nach seiner Ansicht nichts anderes als Ätherstrahlen einer noch kürzeren Wellenlänge als der des violetten Lichtes; er verwies sie mithin in jenes Gebiet der Ätherwellenskala, dem wir als dem chemisch wirksamen bereits begegnet sind. Hierdurch war allerdings ein guter Anschluß an das Auftreten von Fluorescenzerscheinungen unter dem Einfluß der Kathodenstrahlen gefunden.

Jaumann hielt die Kathodenstrahlen für eine longitudinale Wellenbewegung und hat es nicht an Bemühungen fehlen lassen, Interferenzen herbeizuführen.[3])

Unter Interferenz versteht man die Erscheinungen beim Zusammentreffen zweier Wellensysteme. Wirft man beispielsweise zwei Steine zugleich ins Wasser, so wird von jeder der beiden getroffenen Stellen des ruhigen Wasserspiegels eine Wellenbewegung in konzentrischen Ringen ausgehen. Beide Bewegungen durchschneiden sich und bilden dann ein Netzwerk von „stehenden Wellen", indem nach dem Gesetz der Superposition sich die zusammentreffenden Wellenberge und Wellentäler addieren und sich dort, wo Wellenberg auf Wellental fällt, die Bewegung zur Ruhe ausgleicht.

Es ist begreiflich, daß der Nachweis einer Interferenz auch zweier Kathodenstrahlenwellensysteme für die Äthertheorie von höchstem Wert wäre. In der Tat will Jaumann Interferenzen nachgewiesen haben,[4]) eine Täuschung seinerseits ist jedoch nicht ausgeschlossen. Er operierte mit den Glimmlichtstrahlen (nach Goldstein diffusen Kathodenstrahlen II. Ordnung) und fand unzweifelhaft interferenzähnliche Erscheinungen auf einem von den Strahlen gestreiften

---

[1]) Goldstein, Wied. Ann. **12**, 265, 1881.
[2]) E. Wiedemann, Wied. Ann. **10**, 246, 1880.
[3]) Jaumann, Wied. Ann. **57**, 147, 1896.
[4]) Jaumann, Sitzungsbericht der Wiener Akademie **106**, IIa, 533, 1897

fluorescierenden Schirm, aber der Beweis ist doch noch nicht geführt, daß es sich hier nicht um Interferenzen zweier Systeme elektrischer Wellen gehandelt hat, die im Flimmer des Glimmlichtes ihre äußere Erscheinung fanden. Eine Diskussion dieses sehr interessanten Gegenstandes würde an dieser Stelle begreiflicherweise zu weit führen.

Übrigens ist die Äthertheorie der Kathodenstrahlen heute gegen die Korpuskulartheorie ganz zurückgetreten. Man stellt sich auf seiten Crookes und glaubt ihm trotz der Beweise, die er seinerzeit für die Richtigkeit seiner Ansichten beigebracht hat. Nur ist seine Theorie wesentlich verfeinert worden. Sie ging zunächst in die Dissoziationstheorie über. Diese setzt voraus, daß auch die Moleküle der chemisch einfachen Gase aus zwei Atomen bestehen und daß es bei disruptiven elektrischen Entladungen zu einer Zertrümmerung der Moleküle in ihre Atome kommt. Da das Molekül unelektrisch ist, so steht der Annahme nichts im Wege, daß es aus einem positiven und negativen Atom aufgebaut ist, deren ungleichnamige Polarität gleichsam das Bindemittel zwischen ihnen bildet. Durch das Bersten nun sind die Atome frei, die elektronegativen werden von der ebenfalls negativen Kathode abgestoßen und führen die Elektrizität in der Stoßrichtung von einer Stelle zur anderen. Als Begründer dieser Theorie nennen wir außer Faraday besonders J. J. Thomson[1]) und A. Schuster.[2])

In weiterer Ausgestaltung der Dissoziationstheorie ist man schließlich zu bestimmteren Vorstellungen gelangt und hat die Elektronentheorie geschaffen und allen bekannten Entladungsvorgängen angepaßt. Bei der Elektronentheorie, die wie kaum eine zweite für die Wissenschaft in den letzten Jahren fruchtbar gewesen ist und sie gefördert hat, indem sie gleichzeitig die ältere Fluidumstheorie (Wilhelm Weber) mit der Theorie der elektromagnetischen Schwingungen im reinen Äther (Maxwell, Hertz) auszusöhnen bestrebt ist, müssen wir einen Augenblick Halt machen.

Der Leser kennt den Satz von der Erhaltung der Energie. Die Energie, d. h. die Möglichkeit Arbeit zu leisten, ist für das Weltgebäude eine bestimmte Größe. Von ihrer Menge läßt sich weder etwas fortnehmen noch kann man etwas hinzufügen. Überall, wo Kräfte auftreten, beispielsweise bei der Erzeugung elektrischen

[1]) Thomson, Phil. Mag. **29**, 358, 441, 1890.

[2]) Schuster, Proc. Roy. Soc. **37**, 317, 1884. Ebendaselbst **42**, 371, 1887. Wied. Ann. **24**, 74, 1885 und **47**, 526, 1890.

Stromes mit der Dynamomaschine, geht die Energie nicht zu Grunde, sondern befindet sich nur in Bewegung, sie geht von einer Form in die andere über. So ist die Kraft zwar vergänglich, die Energie aber ewig.

Diesem Satz von der Erhaltung der Energie tritt der von der Erhaltung der Masse an die Seite. Auch sie ist eine für das Weltgebäude abgeschlossene Größe und nur wandelbar in ihrer Erscheinungsform.

Als dritter Hauptsatz gesellt sich den voranstehenden der von der Erhaltung der Elektrizitätsmenge hinzu. Danach kann auch die Elektrizitätsmenge in der Welt nicht verringert oder vergrößert werden, wohl aber kann sie ihre Verteilung ändern und damit die Elektrizitätserscheinungen hervorrufen.

Wie jedoch die Masse nicht unbegrenzt teilbar gedacht werden kann, so auch die elektrische Ladung. Schließlich kommt man an ein Elementarquantum, das allen Zerstückelungsversuchen Widerstand leistet und in dem man im wahren Sinne des Wortes das Elektrizitätsatom vor sich hat. Doch besteht sicher eine feste Beziehung zwischen dem Elementarquantum der Masse und dem Elementarquantum der elektrischen Ladung, da es unmöglich ist, sich eine Vorstellung darüber zu bilden, wie elektrische Ladung, ohne an der Masse zu haften, für sich bestehen könnte.

Das Elementarquantum der Masse, behaftet mit dem Elementarquantum elektrischer Ladung, heißt ein Elektron. Für das negative Elektron ist die Masse der Größenordnung nach bekannt, das positive ist bisher noch nicht isoliert, doch kann man annehmen, daß seine Masse wesentlich größer ist. Die Ladung ist natürlich gleich groß.

In der Natur sind die Elektronen selten frei, sie bilden vielmehr meist größere Konstellationen in paariger Anzahl (d. h. von positiven und negativen Elektronen gleich viel).

Wir wollen versuchen, an der Hand einer einfachen zeichnerischen Darstellung etwas näher auf diese Verhältnisse einzugehen. Ein positiv geladener Körper, beispielsweise ein Goldblattelektroskop *E* (Fig. 138, Abbildung I) möge rings von in sich geschlossenen Elektronenverbänden umgeben sein. In Bezug auf das Elektroskop sind diese Verbände neutral und führen auch keine Bewegungen aus, denn die anziehenden und abstoßenden Kräfte heben einander auf. [Die ' Elektronen werden vom Elektroskop abgestoßen, die (—) Ele angezogen.] Könnte irgend eine Kraft den inneren Zus zerstören und ein negatives Elektron abspalten, so wür

werden und sogleich nach dem Elektroskop wandern, um sich dort mit der positiven Ladung zu vereinigen und einen neutralen Ladungszustand zu erzeugen, während der Rest als positive Elektronenmasse zurückbleibt[1]) und von dem Elektroskop abgestoßen wird. Aus den Elektronen werden also Ionen, d. h. „wandernde" Teilchen. Nicht immer braucht der Zusammenhang der Elektronen ganz zerstört zu sein, jeder Elektronenverband ist naturgemäß ein Ion, an dem freie positive oder negative Elektronen im Überschuß vorhanden

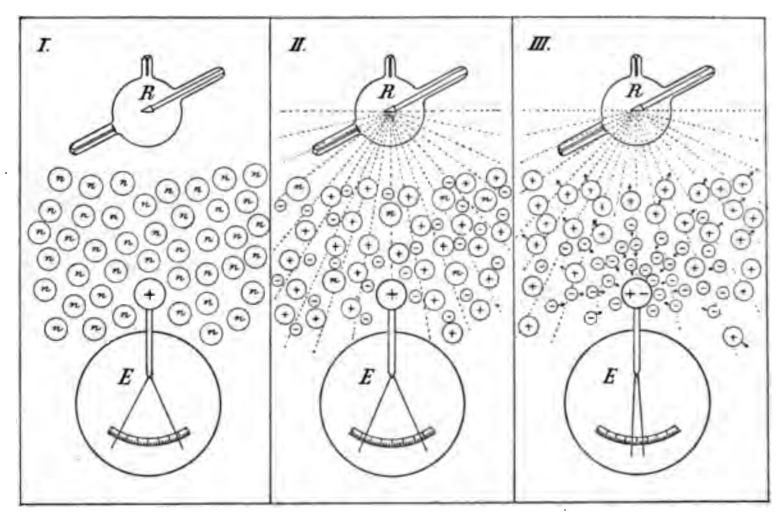


Fig. 138. Zum Verständnis der Elektronentheorie. (Entladung eines Elektroskopes durch Röntgenstrahlen.)

sind. Äußerlich zeigt sich das Vorhandensein freier Ionen in der Luft stets in der Entladung elektrischer Körper (hier des Elektroskopes) an, also in einem Zustand, den man gemeinhin als Leitendwerden der Luft bezeichnet.

Viele Kräfte vermögen freie Ionen zu erzeugen, z. B. die Röntgenstrahlen, die Becquerelstrahlen, die ultravioletten Strahlen u. s. f. In Fig. 138 II und III ist die Erscheinung des Leitendwerdens der Luft unter dem Einfluß der Röntgenstrahlen auf Grund der Elektronenhypothese dargestellt. Es ist nach dem Vorhergesagten wohl überflüssig, der Zeichnung noch eine Erklärung hinzuzufügen.

---

[1]) Jede Masse, der es an negativer Ladung mangelt, muß nach unserer Auffassung eine positive sein.

Erkennt man einmal die Elektronen als Elementarquanten an, so wird man wohl oder übel zu Konsequenzen gezwungen, die zunächst sehr unbequem zu sein scheinen. Das chemische Atom wäre dann nämlich nichts anderes als eine eigenartige Konstellation von Elektronen, und da schließlich alle Körper aus Atomen und Molekülen bestehen, die Elektronen der Baustoff der Welt. Eine Idee von ebenso großer Kühnheit wie Einfachheit. Man kann sich daher schwer an sie gewöhnen.

Im Zusammenhang dieser Betrachtungen gewinnt die Elektronentheorie insofern besonders an Interesse, als man — und darin ist man sich ziemlich einig — in den Kathodenstrahlen eine reißend schnell bewegte Strömung negativer Elektronen sieht. Kathodenstrahlen sind jedoch Elektronenstrahlen von sehr verschiedener Geschwindigkeit. Wehnelt hat Kathodenstrahlen von nur 1600 km Geschwindigkeit an glühenden, mit den Oxyden seltener Erden bedeckten Kathoden nachgewiesen,[1]) Kaufmann konnte Geschwindigkeiten von 100000 km in der Sekunde ($^1/_3$ der Lichtgeschwindigkeit) und mehr konstatieren.[2]) Das sind Zahlen, vor denen man beinahe erschrickt; aus ihnen erklären sich jedoch die großen, vom Anprall der Elektronen hervorgerufenen Wärmeeffekte.

Die Art der Geschwindigkeitsmessung möge im Prinzip an einem einfachen Beispiel erläutert sein. Jedes von der Kathode fortgeschleuderte Elektron ist einem Geschoß vergleichbar, das sich gleich einer Gewehrkugel geradlinig fortbewegen würde, wenn nicht außer der Stoßkraft noch andere Kräfte auf dasselbe zur Einwirkung kämen. Bei einem Geschoß ist es die Anziehungskraft der Erde, welche dasselbe aus der Schußrichtung ablenkt, aber bei gleichbleibender Weglänge um so weniger, je schneller es fliegt. Daher kann man ohne weiteres, vorausgesetzt, daß die Stärke der ablenkenden Kraft und die Größe der Ablenkung bekannt sind, die Geschwindigkeit des Geschosses berechnen. Nun übt allerdings die Schwerkraft auf die in den Kathodenstrahlen bewegten Teilchen keinen Einfluß aus, wohl aber, sie gleichsam ersetzend, ein Magnet. Die sich geradlinig fortpflanzenden Kathodenstrahlen erzeugen auf der gegenüberliegenden Glaswand einen Fluorescenzfleck, der gleichsam das Zentrum der von den Elektronen getroffenen Scheibe darstellt. Die Nähe eines Magneten lenkt die Kathodenstrahlen im Sinne eines negativen Stromes ab und verschiebt auch den Fluores-

[1]) A. Wehnelt, Verhandl. d. Deutschen Physikalischen Gesellschaft. V. Jg. No. 14, S. 255, 1903.

[2]) W. Kaufmann, Wiedemanns Annalen d. Phys. **61**, 544, 1897.

verhält. Man kann mithin die Größe der Ablenkung direkt messen, und da auch die Stärke des magnetischen Kraftfeldes bekannt ist, so steht einer Berechnung der Geschwindigkeit der Elektronen nichts im Wege.

Es entsteht die Frage, wovon die für unsere Begriffe zwar immer sehr große, in vielen Fällen aber recht verschiedene Geschwindigkeit der Kathodenstrahlen abhängig ist. Der Gedanke liegt nahe, dem Grade der Luftverdünnung in der Entladungsröhre eine entscheidende Rolle zuzulegen. Neuere Messungen haben indes dargetan,[1]) daß die Geschwindigkeit wahrscheinlich lediglich eine Funktion der an der Entladungsröhre herrschenden Spannungsdifferenz ist und mit der Quadratwurzel aus der letzteren wächst. Der Spannungsabfall von der Anode bis zur Kathode beträgt meist mehre Tausend Volt, doch ist er keineswegs gleichmäßig verteilt, sondern an der Kathode im Bereich des sog. dunklen Kathodenraumes (vgl. S. 100) weitaus am größten. Hier findet fast der gesamte Energieverbrauch statt. Bezüglich der Arbeiten über den dunklen Kathodenraum und der der Kathode zunächst anliegenden ersten (leuchtenden) Kathodenschicht, die man als Endigung der positiven Entladung ansprechen darf, müssen wir auf die Fachliteratur verweisen.

Jedenfalls wächst also die Geschwindigkeit der Kathodenstrahlen mit der Höhe des Entladungspotentiales, was man wohl verstehen kann, da ja offenbar die Elektronen durch die Entladung selbst ihren Antrieb erhalten. Nur insofern kommt hierbei auch der in der Röhre herrschende Luftdruck in Frage, als eben das zur Einleitung der Entladung erforderliche Potential von ihm abhängig ist. Bei hohen Drucken — geringen Evakuationsgraden also — genügt schon unter gewissen Voraussetzungen, wie Wehnelt nachgewiesen hat, die an der Lichtleitung vorhandene Potentialdifferenz, um Kathodenstrahlen zu erzeugen.[2]) Diese Kathodenstrahlen sind dann natürlich von relativ geringer Geschwindigkeit und durch den Magneten leicht ablenkbar; auch kann man ihre Spur sehen. Jedes in der Entladungsröhre noch vorhandene Luftmolekül absorbiert die von den Kathodenstrahlen gelieferte Energie zum Teil und setzt sie in Lichtschwingungen um. Mit wachsender Evakuation und dementsprechend wachsendem Entladungspotential nimmt die Geschwindigkeit der Kathodenstrahlen zu, ihre Ablenkbarkeit ab und zugleich verschwindet ihre sichtbare

[1]) u. a. W. Kaufmann. Wiedemanns Annal. d. Phys. 61, 544, 1897.

[2]) A. Wehnelt. Verhandl. d. Deutschen Physikal. Gesellschaft. V. Jg. No. 14, S. 255, 1903.

Spur mehr und mehr. Dabei erzeugen sie von einer gewissen Geschwindigkeit ab Röntgenstrahlen, und zwar Röntgenstrahlen, deren Charakter je nach der Kathodenstrahlgeschwindigkeit ein verschiedener ist, wie später gezeigt werden soll.

Aus dem Potentialgefälle und der magnetischen Ablenkbarkeit läßt sich das Verhältnis der Masse zur elektrischen Ladung des Elektrons ableiten. Beides sind natürlich fast verschwindend kleine Größen. Nach der Ansicht J. J. Thomsons dürfte die Masse des negativen Elektrons kaum $\frac{1}{1000}$ derjenigen eines Wasserstoffatoms sein.

Die Ladung beträgt im Mittel etwa $\frac{4,2}{10000000000}$ elektrostatische Einheiten,[1]) das Verhältnis der Ladung zur Masse ist 18650000 (nach Simon[2]) bis 11600000 (nach Lenard.[3]) Man sieht, wie geringfügig die Masse im Verhältnis zur Ladung ist. Vielleicht ist aber überhaupt die Masse der Elektronen nur zum geringsten Teil materiell und wägbar. Die Überlegungen von Abraham[4]) und Kaufmann[5]) haben gezeigt, daß die Masse auch durch die elektromagnetische Natur des Elektrons vorgetäuscht und daher eine scheinbare sein kann. Wir werden uns bei der Besprechung der radioaktiven Substanzen dieses Umstandes zu erinnern haben.

Für die Äthertheorie war die Tatsache der magnetischen Ablenkbarkeit der Kathodenstrahlen immer unbequem, wennschon nach der Maxwell-Hertzschen Vorstellung eine direkte magnetische Beeinflussung des Äthers wohl möglich ist. Die Elektronenhypothese stößt in dieser Beziehung auf keine Schwierigkeiten, denn negativ geladene und bewegte Teilchen stellen nichts anderes dar, als negative elektrische Ströme. Diese werden durch ein magnetisches Feld in bekannter Weise abgelenkt.

Wir haben bereits dargelegt, daß die magnetische Ablenkung um so geringer ausfällt, je größer das elektrische Entladungspotential und damit die Geschwindigkeit der Elektronen ist. Ein gewöhnlicher Funkeninduktor mit seinen unregelmäßigen Entladungen variabler Spannung liefert daher im magnetischen Felde meist keine

---

1) Die Einheit der Elektrizitätsmenge ist die, welche auf eine gleich große Menge in der Entfernung 1 cm die Kraft von 1 „Dyne" ausübt — also eine schon an sich sehr geringe Größe.

2) S. Simon, Wiedemanns Annalen **69**, 589, 1899.

3) Ph. Lenard, Annalen d. Physik (4) **2**, 368, 1900.

4) M. Abraham, Annalen d. Physik **10**, 105, 1903.

5) W. Kaufmann, Physikal. Zeitschrift **4**, 54, 1902.

reine Erscheinung, sondern ein ganzes Bündel von Kathodenstrahlen, die nach ihrer Geschwindigkeit zu einer Art Spektrum angeordnet sind.[1] Für die Praxis ist dieser Umstand wohl zu berücksichtigen, falls das Kathodenstrahlenbündel magnetisch auf die Antikathode gelenkt worden ist. Es enstehen dann oft unscharfe Bilder.

Die Durchdringungskraft der Kathodenstrahlen nimmt mit ihrer Geschwindigkeit zu, obgleich sie im allgemeinen gegen die der Röntgenstrahlen gering ist. Von den Versuchen Lenards wurde bereits gesprochen. Schon H. Hertz konnte sich von der Fähigkeit der Kathodenstrahlen, in geringem Maße Glas zu durchdringen, überzeugen;[2] auch dünne Goldblättchen waren durchlässig, Glimmer hingegen nicht. Hertz befestigte Goldblättchen auf Uranglas und brachte beides, die Goldseite der Kathode zugekehrt, in das Entladungsrohr.

„Wird bei fortschreitender Verdünnung das Innere des Entladungsrohres mehr und mehr lichtlos, und beginnen die eigentlichen Kathodenstrahlen das belegte Glas zu treffen, so beginnt dieses auch hinter der Goldschicht zu phosphoreszieren; dies Leuchten nimmt zu, und wenn die Kathodenstrahlen ihre lebhafteste Entwicklung erreicht haben, erscheint, von der hinteren Seite aus betrachtet, das Goldblatt nur noch als ein matter Schleier auf der Glasplatte, hauptsächlich erkennbar an seinen Rändern und an den kleinen Fältelungen, welche es enthält. Man kann kaum sagen, daß es einen Schatten wirft. Die Kathodenstrahlen durchsetzen also die Goldschicht wie es scheint mit geringem Verluste.“

Wo die Kathodenstrahlen auftreffen, werden sie — insbesondere von Metallen — diffus reflektiert, gleichzeitig bildet sich jedoch ein sekundäres Bündel von Kathodenstrahlen aus, das auf der neuen Fläche senkrecht steht und durch seine leichte magnetische Ablenkbarkeit als mit geringer Geschwindigkeit behaftet erscheint (Goldstein).

Schließlich sind im Zusammenhange noch die Kanalstrahlen zu erwähnen, die, den Kathodenstrahlen entgegengerichtet, an Öffnungen der Kathode erscheinen und wahrscheinlich als die hinter der Kathode fortgesetzte positive Entladung anzusehen sind.[3] Eine

---

[1] Das Spektrum wurde zuerst von E. Wiedemann und Ebert beschrieben. Sitzungsbericht d. phys. med. Soz. zu Erlangen. Dez. 1891.

[2] H. Hertz, Wiedemanns Annalen **45**, 28, 1892.

[3] Goldstein, Sitzungsberichte d. Berl. Akadem. 691, 1886; derselbe, Verhandl. d. Deutschen Physikal. Gesellschaft **3**, 204, 1901.

sehr geringe magnetische Ablenkbarkeit der Kanalstrahlen hat Wien neuerdings nachweisen können. Ihre Geschwindigkeit wächst wie diejenige der Kathodenstrahlen mit dem elektrischen Spannungsabfall im Dunkelraum der Kathode.

Das ist im großen und ganzen das Beobachtungsmaterial, soweit es uns hier interessiert und soweit es gemeinverständlich in seinen allergröbsten Zügen dargestellt werden kann.

Als Charakteristikum der

Röntgenstrahlen

muß zunächst gelten, daß sie bisher auf keine andere Weise als mit Hilfe der Kathodenstrahlen erzeugt werden können. Ferner sind sie unsichtbar, magnetisch unablenkbar, unbrechbar, von chemischer Wirkung, rufen Fluorescenz hervor und ionisieren, wie bereits besprochen, die Luft. Will man eine Theorie der Röntgenstrahlen aufstellen, so drängt sich natürlich zunächst die Vermutung auf, daß sie Kathodenstrahlen von großer Geschwindigkeit und der magnetischen Ablenkbarkeit = 0 seien. Aber abgesehen davon, daß es bis jetzt nicht gelungen ist, Kathodenstrahlen ohne Ablenkbarkeit auch nur angenähert darzustellen, unterscheiden sich die Röntgenstrahlen in einem ganz wesentlichen Punkte von ihnen: sie entstehen erst da, wo die Kathodenstrahlen auf einen festen Körper auftreffen, sind also keinesfalls die geradlinige Fortsetzung derselben.

Wesentlich ist auch der in der Stärke der Durchdringungskraft begründete Unterschied. Hertz vermochte mit den Kathodenstrahlen ein winzig dünnes Goldblättchen, Lenard ein Kartonblatt von nur 0,3 mm Dicke zu durchstrahlen, die Röntgenstrahlen dagegen durchdringen mühelos Glas, Wasser, einige Metalle, dicke Holzklötze, Mauerwerk, den menschlichen Körper u. a. m.

Daß die Durchlässigkeit verschiedener Körper für die Röntgenstrahlen in der Hauptsache mit ihrem Molekulargewicht zusammenhängt, wurde bereits erwähnt (Seite 101); im reziproken Verhältnis steht die Emissionsfähigkeit der Körper für Röntgenstrahlen, d. h. die Fähigkeit, unter dem Einfluß der Kathodenstrahlen Röntgenstrahlen auszusenden. An der Spitze findet man daher das Platin, welches dem Durchgang der Röntgenstrahlen den größten Widerstand entgegensetzt.

Für die Durchdringungsfähigkeit der Röntgenstrahlen ist der Evakuationsgrad der Röhre nur insofern von Bedeutung, als durch … akter der Entladung überhaupt beeinflußt wird. Die

Röntgenstrahlen penetrieren um so stärker, je größer die Geschwindigkeit der sie erzeugenden Kathodenstrahlen ist, sie sind also in ihrem Charakter von der Höhe des Entladungspotentiales abhängig. Man darf jedoch annehmen, daß ihre Emission erst bei einer bestimmten Kathodenstrahlengeschwindigkeit merkbar wird.

Als niedrigste zur Erzeugung der Röntgenstrahlen erforderliche Induktorspannung gibt Trowbridge[1]) 100000 Volt an. Wehnelt hat jedoch einwandfreie Versuche angestellt, welche das Resultat brachten, daß es unter geeigneten Versuchsbedingungen möglich sei, bereits bei 7000 Volt kräftige Röntgenstrahlen zu erhalten.[2]) Er findet, daß der dunkle Raum, der, wie wir bereits aus dem Abschnitt V wissen, sich bei steigender Evakuation allmählich über das ganze Röhreninnere ausdehnt, eine wichtige Rolle bei den die Röntgenstrahlen hervorrufenden Entladungsvorgängen spielt. Es treten nämlich die Röntgenstrahlen in dem Augenblick auf, wo der dunkle Raum die Anode einschließt. Dies ist natürlich schon bei relativ geringen Drucken der Fall, wenn die Anode der Kathode möglichst nahe gebracht und auch sonst die Anordnung so getroffen wird, daß der dunkle Raum die Anode bald einschließen muß. Auch eine der Röhre vorgeschaltete Funkenstrecke wirkt fördernd auf die Emission von Röntgenstrahlen, da sie die Ladung anspannt und das Potential erhöht.

Die Röntgenstrahlen sind Träger der Energie und befähigt, als solche Wirkungen auszuüben, wie Fluorescenzerscheinungen hervorzurufen, chemische Verbindungen zu zersetzen und Gase zu ionisieren. Dabei werden sie absorbiert. Könnte nachgewiesen werden — wozu allerdings bisher alle Aussicht fehlt —, daß die Röntgenstrahlen an absorbierenden Körpern außer einer sekundären Röntgenstrahlung, den sogenannten *S*-Strahlen,[3]) ultraviolette Strahlen erzeugten, so wäre für die genauere Erklärung der obengenannten Folgeerscheinungen viel gewonnen. Denn die ultravioletten Strahlen sind als Erzeuger von Fluorescenz, chemischer Wirkung und Ionisation bereits bekannt (vergl. Seite 220).

Bezüglich der Ansichten über die Natur der Röntgenstrahlen halten wir uns zunächst an einige der älteren Theorien.

[1]) Trowbridge, Beibl. zu Wied. Ann. **21**, 777, 1897.

[2]) Wehnelt, Studien über den dunklen Kathodenraum, Wied. Ann. **65**, 511, 1898.

[3]) Die *S*-Strahlen wurden von Sagnac 1899 entdeckt und sind den [illegible]en durchaus ähnlich. Nach Langevin ist ihre Durchdrin[illegible]rößer, je weniger dicht der Körper ist, von dem sie [illegible]et d. Phys. ser. 7 t. XXVIII, 517—530, 1903).

Nach der Elektronentheorie sind die Kathodenstrahlen, wie wir wissen, kleinste mit negativer Elektrizität befrachtete Teilchen, die von der Kathode mit außerordentlicher Vehemenz abgeschleudert, winzigen Geschossen gleich, den Raum mit einer Geschwindigkeit bis zu 100000 km in der Sekunde durchfliegen. Die Ablenkung dieser Teilchen durch den Magneten erklärt sich in ungezwungener Weise eben aus ihrer Ladung. Eine Beeinflussung würde natürlich unelektrischen Teilchen gegenüber nicht stattfinden. Was liegt also näher als die Annahme, daß die Röntgenstrahlen aus eben den kleinsten Teilchen bestehen, die an der gegenüberliegenden Glaswand oder an der Antikathode ihre Ladung etwa zur Verwendung für eine Wärme- oder Fluorescenzwirkung abgaben und nun, des elektrischen Gepäckes ledig, an Durchdringungskraft ebenso gewonnen haben, wie sie sich der Einwirkung von seiten eines Magneten entziehen? Auch das an Röntgenstrahlen beobachtete Vermögen, elektrischen Körpern die Ladung zu entziehen, ließe sich dann erklären. Man brauchte ja nur anzunehmen, daß die durch ihre gewaltsame Entladung an der Antikathode gleichsam ausgedörrten Teilchen begierig von überallher Elektrizität aufsaugen, etwa wie ein hygroskopischer Körper die in seiner Nähe befindlichen Wasserteilchen. Leider sind aber alle Versuche, den unelektrischen Röntgenstrahlenteilchen ihre Ladung wiederzugeben und sie damit zu ablenkbaren Kathodenstrahlen zu machen, gescheitert oder doch nicht unzweideutig genug ausgefallen. Nur die Erklärung der Durchdringungsfähigkeit würde nach der Korpuskulartheorie keinerlei Schwierigkeiten begegnen, da die Elektronen gegen die molekularen Zwischenräume der Körper fast verschwindend klein sind und etwa durch eine Glaswand fliegen würden, wie eine Handvoll Schrot durch einen Lattenzaun.

Der Ätherschwingungstheorie der Röntgenstrahlen dagegen schlossen sich Lord Kelvin[1]) und v. Röntgen[2]) selbst an, und zwar glaubte es letzterer mit longitudinalen Wellen zu tun zu haben. Nach O. Lehmann[3]) sollte die X-Strahlen-Wellenbewegung hervorgerufen und bedingt sein durch die äußerst raschen Pulsationen der Kathodenstrahlenentladung.

Neuerdings ist die Theorie von E. Wiechert und G. Stokes

---

[1]) Lord Kelvin, The Elektrician **36**, 593, 1896.
[2]) v. Röntgen, Sitzungsbericht der Würzburger phys. med. Ges. 1896.
[3]) Zeitschrift für Elektrochemie I, 484, 184, 1896.

etwa in folgender Weise ausgesprochen worden:[1]) Die Röntgenstrahlen sind eine Folge unabhängiger Pulsationen, die dort entstehen, wo die von der Kathode abgeschleuderten Elektronen die Antikathode treffen. Die Pulsationen pflanzen sich transversal mit Hilfe des Äthers fort und unterscheiden sich nur insofern von den bekannten Ätherwellen (Wärme, Licht u. s. f.), als sie nicht durch kontinuierliche Schwingungen, sondern durch einzelne unendlich kurze Stöße dargestellt werden.

Gestützt wird diese Theorie durch die Versuche Blondlots,[2]) aus denen die Geschwindigkeit der Röntgenstrahlen zu der des Lichtes hervorgeht. Wo aber so große Geschwindigkeiten (300000 km in der Sekunde) auftreten, kann nur der Äther als Fortpflanzungsmedium in Frage kommen. Zum Verständnis der Blondlotschen Experimente muß vorausgeschickt werden, daß der Funken einer elektrischen Funkenstrecke unter dem Einfluß der Röntgenstrahlen an Intensität gewinnt. Blondlot schaltet nun mit kurzen, gleichlangen Drähten eine Funkenstrecke und eine Röntgenröhre parallel an einen Induktor. Eine einfache Überlegung lehrt, daß dann Funkenstrecke und Röhre niemals zugleich in Aktion treten können. Denn bei ansteigendem Entladungspotential (der Induktor entsendet ja pulsierenden Strom) leuchtet zuerst die Röhre auf, um jedoch jedesmal zu verlöschen, wenn die Spannung so hoch gestiegen ist, daß eine Funkenentladung eintritt.[3]) Ein Fünkchen an einem Hertzschen Resonator, der dicht neben der Funkenstrecke (dem Oszillator) steht und von diesem erregt wird, zeigt sich daher durch die Röntgenstrahlung unbeeinflußt. Die Röhre ist mit ihrer Strahlung allemal zu früh fertig. — Die Verhältnisse werden jedoch sofort andere, wenn man, ohne sonst etwas an der Apparatenaufstellung zu ändern, die Zuführungsdrähte zur Röhre verlängert. Die elektrische Welle gelangt dann später zur Röhre und diese entsendet noch Strahlen, wenn das Resonatorfünkchen bereits eingesetzt hat, was man deutlich an seiner Verstärkung sieht. Die Röhre kann so weit von der Funkenstrecke des Resonators entfernt werden, bis ihre Einwirkung eben wieder erlischt. Man begreift dann sofort, daß die Röntgenstrahlen dieselbe Zeit zur Zurücklegung der Strecke von der Röhre bis zur Funkenstrecke gebrauchen, wie die elektrische Welle, um

[1]) Vgl. Wied. Ann. 59, 1896 u. Proc. of the Cambridge phil. Soc. 9, 1896.

[2]) Blondlot, Comptes rendus t. CXXXV, 666—670 u. 763—766, 1902.

[3]) Ansicht von Blondlot.

den Zuwachs an Leitungsdraht zurückzulegen. Mit anderen Worten, die Geschwindigkeit der Röntgenstrahlen ist zu der bekannten Geschwindigkeit der elektrischen Wellen in ein meßbares Verhältnis getreten.[1]) Das Resultat ist das oben bereits erwähnte: Röntgenstrahlengeschwindigkeit und Lichtgeschwindigkeit (die elektrischen Wellen pflanzen sich ebenso schnell fort wie das Licht) ist dieselbe.

So glänzend auch die Untersuchung Blondlots sein mag und so wahrscheinlich es im übrigen auch ist, daß die Röntgenstrahlen Lichtgeschwindigkeit besitzen und ein Ausbreitungsvorgang im Äther sind, so darf man sich doch einige Bedenken nicht verhehlen. Blondlot hat gelegentlich seiner Versuche über die Polarisation der Röntgenstrahlen[2]) nämlich gefunden, daß alle von ihm beobachteten Wirkungen von bisher unbekannten dunklen Begleitstrahlen ausgingen, die sich im Gegensatz zu den Röntgenstrahlen als brechbar erwiesen. Es ist daher wohl möglich, wenn auch nicht wahrscheinlich, daß statt der Geschwindigkeit der Röntgenstrahlen diejenige der Begleiter gemessen wurde.

Läßt man aber die Ätherhypothese gemeinhin gelten, so bleibt noch die Frage nach der Wellenlänge der Röntgenstrahlen zu beantworten. Die auswählende und sortierende Kraft des Prismas versagt ihnen gegenüber völlig, und auch die vielen Versuche,[3]) eine Beugung und Interferenz der Röntgenstrahlen nachzuweisen, haben bisher nur zu einer Vermutung über die obere Grenze der Wellenordnung geführt. Ist die Wellenlänge außerordentlich klein und fast verschwindend gegen die mittlere Lichtwelle, dann könnte nach dem Dispersionsgesetz der Brechungsexponent = 1 werden, d. h. der von einem Medium in das andere übergehende Wellenstrahl würde eine Ablenkung nicht mehr erfahren.

Die radioaktiven Substanzen.

Nächst der Entdeckung der Röntgenstrahlen hat nichts die Wissenschaft so in Anspruch genommen und bis jetzt beschäftigt,

[1]) Wird der Draht um a cm verlängert und beträgt der Abstand der Röhre vom Resonator b cm, so verhalten sich die Geschwindigkeiten $\frac{v}{v^1} = \frac{a}{b}$; für $\frac{a}{b}$ fand Blondlot im Mittel den Wert 0,97, was nahezu mit 1 übereinstimmt.

[2]) Blondlot, Comptes rendus, t. CXXXVI, 284–286, 1903.

[3]) Fomm, Wied. Ann. **59**, 350, 1896, Voller, Fortschr. d. Phys. II, 656, 1896, Wied. Ann. **61**, 95, 806, 1897, Sagnac C. R. CXXII 783, 1896, Haga und Wind, Wied. Ann. **68**, 884, 1899 u. a. m.

als die Auffindung der sogenannten radioaktiven Substanzen durch den französischen Physiker Henri Becquerel. Auch glaubte man in der Praxis seinerzeit die Röntgenröhre durch das Becquerelpräparat ersetzen zu können, eine Hoffnung, die sich allerdings in der Folge nicht erfüllt hat.

H. Becquerel[1]) bemerkte im Jahre 1896 — kurze Zeit nach der Entdeckung Röntgens —, daß von den Uransalzen dunkle Strahlen ausgehen, die gleich den Röntgenstrahlen befähigt sind, undurchsichtige Körper zu durchdringen, photographische Effekte hervorzurufen und die Luft leitend zu machen, d. h. zu ionisieren.[2]) Diese Radioaktivität fand sich an der Pechblende, dem Cleveït, dem Uranglimmer u. s. f., kurz an allen Uranverbindungen, so daß man sich zunächst veranlaßt sah, von einer spezifischen „Uranstrahlung" zu sprechen.

Dann konnte das Ehepaar Curie aus der Pechblende zwei Stoffe abscheiden, die sich als Träger der Radioaktivität erwiesen und von denen der eine, analytisch dem Wismut ähnliche, den Namen Polonium, der andere, mit den Merkmalen des Baryums behaftete, den Namen Radium erhielt. Mit diesen Präparaten, deren Kraft diejenige der Pechblende um das Vieltausendfache übersteigt, konnte auch die Leuchtwirkung am Bariumplatincyanürschirm leicht erkannt werden. Radium und Polonium scheinen jedoch nicht die einzigen radioaktiven Körper zu sein. So entdeckte G. C. Schmidt[3]) an den Thorverbindungen, A. Debierne[4]) an den aus der Pechblende genommenen Substanzen der Schwefelammongruppe, F. Giesel[5]) an einem ebenfalls aus der Pechblende abgeschiedenen dem Lanthan ähnlichen Stoffe radioaktive Eigenschaften. Auch die aus den Uranmineralien genommenen Bleipräparate weisen eine Strahlung auf.[6])[7])

Ebenso wie die Röntgenstrahlen sind die „Bequerelstrahlen" — so kann man sie zusammenfassend nennen — keine spektrale

[1]) H. Becquerel, Comptes rendus CXXII, 420, 501, 559, 689, 762, [illegible]

[2]) Die Fluoreszenzerregung wurde erst später gefunden.

[3]) G. C. Schmidt, Wiedemanns Annalen d. Physik 65, 141, 1898.

[4]) A. Debierne, Comptes rendus CXXIX, 593, 1899; Debierne schlägt für die Substanz den Namen „Aktinium" vor, doch ist sie wahrscheinlich mit dem radioaktiven Thor identisch.

[5]) F. Giesel, Berichte d. deutsch. chem. Ges. 36, 342, 1903.

[6]) K. A. Hofmann, Strauß u. Wölfl, Berichte d. deutsch. chem. Gesellschaft 33, [illegible] 34, [illegible] 35, 1453, 1902; 36, 1040, 1903.

[7]) [illegible] Radium- u. d. Thorverbindungen [illegible]

Strahlung, d. h. es läßt sich zu ihnen eine Brechung nicht nachweisen. Doch sind sie im Gegensatz zu den Röntgenstrahlen magnetisch ablenkbar. Das magnetische Feld scheidet Strahlen verschiedener Eigenschaft voneinander, welche demselben Präparat angehören, es entwirft dabei zugleich eine Art von Spektrum. Denkt man sich ein Radiopräparat *R* (Fig. 139) hinter einen Bleischirm *B* gestellt und vor einem Spalt des letzteren einen Südpol *S* angeordnet — die Kraftlinien laufen dann mit dem Blick des Beschauers —, so wird ein Teil der aus dem Spalt hervordringenden Strahlen kaum merklich und im Sinne einer positiven Strömung abgelenkt.[1] Diese Strahlenmasse hat man als α-Strahlung be-

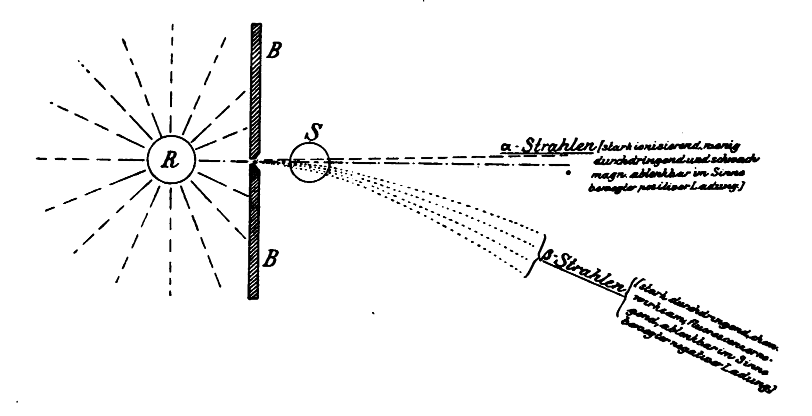


Fig. 139. Magnetische Verteilung der Strahlen radioaktiver Substanzen.

zeichnet. Sie ist charakterisiert durch ihre geringe Durchdringungskraft sowie durch ihre außerordentliche Fähigkeit, die Luft zu ionisieren und leitend zu machen. Ein anderer Teil — die sogenannte β-Strahlung — wird dagegen leicht abgelenkt, und zwar, wie die Kathodenstrahlen, im Sinne einer Strömung negativ geladener Teilchen. Im Gegensatz zu den α-Strahlen durchdringen die β-Strahlen fast mühelos alle Körper, sie rufen wie die Röntgenstrahlen Fluorescenzerscheinungen und chemische Wirkungen hervor und doch sind sie, eben wegen ihrer magnetischen Ablenkbarkeit, offenbar keine Röntgenstrahlen. Auch unterscheiden sie sich nicht unwesentlich im Strahlungscharakter von ihnen. Während nämlich auch die härtesten Röntgenstrahlen doch noch immer zwischen verschieden dichten Körpern differentiieren und beispielsweise die

[1] E. Rutherford, Phil. Mag. [6] 5, 77, 1903.

Knochen vom Fleisch unterscheiden lassen, ist dies bei den β-Strahlen nicht der Fall. Selbst dicke Eisenklötze werden noch von ihnen durchdrungen. Man kann daher verstehen, daß die radioaktiven Präparate auch dann noch für die Röntgenpraxis unbrauchbar sein würden, wenn es gelingen sollte, die Expositionszeiten wesentlich herabzusetzen und die schädigende Einwirkung auf den Organismus zu beseitigen.[1])

Das Energieverhältnis der α-Strahlen zu den β-Strahlen ist übrigens bei den verschiedenen Präparaten fast immer ein anderes, bei dem Uranoxyd beispielsweise 6 : 1, bei den besten Radiumpräparaten (Radiumbromid) 14 : 1.

Liegen irgendwelche Körper eine Zeitlang in der Nähe radioaktiver Präparate, so zeigen sie sich alsbald selbst radioaktiv. Diese induzierte Radioaktivität ist vergänglich und daher wohl von der primären zu unterscheiden. Es unterliegt heute keinem Zweifel mehr, daß die Radioaktivität von den primär wirksamen Substanzen auf die anderen durch eine träge radioaktive Gasausscheidung übertragen wird, die neben der eigentlichen Strahlung einhergeht. Diese „Emanation“ wird kontinuierlich erzeugt und besitzt offenbar eine positive Ladung, da sie sich vorzugsweise an negativ elektrischen Körpern absetzt und diese radioaktiv macht.[2]) Sie bewirkt ein Leitendwerden der Luft, das mit der Entfernung der radioaktiven Präparate nicht sogleich schwindet und sich damit von der akuten Ionisation durch Röntgenstrahlen und ultraviolette Bestrahlung unterscheidet. Man kann die Emanation zugleich mit dem Luftstrome fortbewegen und in bisher von radioaktiven Substanzen unberührten Räumen radioaktive Effekte hervorbringen lassen. Auch läßt das Bestreben der Luft, namentlich in Kellerräumen, aus sich heraus freie Ionen zu bilden,[3]) ferner die Neigung des Brunnenwassers zur Radioaktivität,[4]) sowie die von Wilson und Mc. Lennan nachgewiesene Strahlung des Schnees und Regens[5]) auf eine dauernde, vielleicht aus dem Erdboden dringende, Emanation in der Luft schließen.

Welcher Art diese Emanation ist, läßt sich schwer sagen. Sie zeigt in Spektralröhren hauptsächlich die bekannten Kohlenwasser-

---

[1]) Die Becquerelstrahlen rufen in der Haut schwere Entzündungserscheinungen hervor.

[2]) Giesel, Berichte der deutschen chem. Gesellschaft **36**, 346, 1903, Elster u. Geitel, Physikal. Zeitschrift 4. Jg. No. 19, 522—530, 1903.

[3]) J. J. Thomson, Nature, No. 1752, Vol. **68**, 1903.

[4]) C. T. R. Wilson u. Mc. Lennan, University of Toronto Studies, Physical. Science Series No. I, 12, 1903 (Physikal. Zeitschrift **4**, 295, 1903).

stofflinien und läßt sich (nach Dewar) in flüssiger Luft bei einer Temperatur von 130° C. unter Null kondensieren. Chemische Verbindungen geht die Emanation weder mit Platinschwarz, noch mit Magnesiumpulver, Bleichromat oder Zinkstaub ein, auch nicht bei Rotglut. Rutherford und Soddy kommen daher zu der Ansicht, es könne die Emanation vielleicht aus den Gliedern der Argonfamilie rekrutiert sein. Besonders verdächtig erscheint nach den neuesten Untersuchungen von W. Ramsay und F. Soddy das Helium.[1])

Ganz ungelöst ist indessen bis jetzt der anscheinende Konflikt der Becquerelstrahlung mit dem Energiegesetz. Die von einem Radiumpräparat ausgesandten Strahlen sind offenbar Träger der Energie, da sie fähig sind, Arbeit zu leisten (Fluorescenzerregung, chemische Wirkung etc.), sie sind gleichzeitig das Maß für die von dem Präparat ständig verausgabte Energie. Das ist sicher, ebenso sicher aber auch, daß man bisher einen Energieverlust an den Radiumpräparaten unzweideutig noch nicht hat feststellen können. Da man das Energiegesetz (Seite 218) nicht umstoßen und auch schlechterdings nicht modifizieren kann, so steht man in der Tat vor einem Rätsel. Hält man, was sehr wohl sein kann, die Becquerelstrahlung für eine Elektronenbewegung (vergl. Seite 219 u. f.) und gibt man selbst zu, daß die Massen zum Teil nur scheinbare sind und daher mit einem äußerst geringen Transport von stofflicher Materie einen großen äußeren Effekt verbinden können, so kommt man darum doch nicht um den Energieverlust fort. Daß das radioaktive Präparat nur der Transformator für eine bisher unbekannte und den Verlust ständig ersetzende Energiestrahlung sei, ist eine etwas kühne Vorstellung, zu der man nur in äußerster Bedrängnis seine Zuflucht nehmen wird. Diese hypothetischen Erregerstrahlen müßten sonst alle Körper ohne nachweisbare Absorption durchdringen und so unserem Spürsinn bisher entgangen sein.[2]) Die radioaktive Strahlung wäre dann allerdings durch einen Zerfall der Molekel in positive und negative Elektronen zu erklären, deren sofortige Vereinigung durch die ihnen erteilte Beschleunigung verhindert wird.

Schließlich könnte auch der Energieverlust durch die Gravitationsenergie gedeckt werden; dann müßte das Präparat mit der Zeit an Gewicht verlieren. Die Versuche von Heydweiller[3]) lassen

---

[1]) W. Ramsay und F. Soddy, Proceedings of the Royal Society, vol. LXXII, 204—208, 1903 (Naturw. Rdsch. XVIII. Jg. No. 36, 453, 1903).

[2]) Diese Vermutung ist von den Curies ausgesprochen worden.

[3]) A. Heydweiller, Phys. Zeitschrift 4, 81, 1902.

eine solche Annahme angeblich erkennen, doch sind sie keineswegs unumstritten. Ist jedoch der angegebene Gewichtsverlust von 0,02 mg auf ein 5 gr-Präparat in 24 Stunden einwandfrei konstatiert, so begreift man nicht, wie er bisher trotz vieler Bemühungen hat übersehen werden können. Die Abnahme an potentieller Gravitationsenergie würde dann 12 000 000 Erg betragen und jedenfalls die Größe der von Becquerel berechneten Energie der Radiumstrahlung erklären lassen.

Wie dem nun aber auch sei, jedenfalls ist die Wissenschaft durch die Entdeckung der Röntgenstrahlen und der radioaktiven Substanzen vor ganz neue Probleme gestellt, deren endgültige Lösung sie zugleich einen gewaltigen Schritt in der Erkenntnis der Ökonomie des Naturhaushaltes vorwärtsbringen wird. Zur Ausfüllung der vielen Lücken, mit denen eine summarische Behandlung des Stoffes und eine nur dem allgemeinen Verständnis dienende Darstellung naturgemäß behaftet ist, müssen wir dem Leser das Studium der Fachliteratur empfehlen.

Anhang.

Es ist noch zu bemerken

1. zum Abschnitt II Seite 25 (die Umwandlung von Wechselstrom in Gleichstrom betreffend): In letzter Zeit sind die Versuche wiederum aufgenommen worden, den Wechselstrom mit Hilfe elektrolytischer Zellen in einen pulsierenden Gleichstrom zu verwandeln. L. Grätz hatte zuerst bemerkt, daß eine mit Blei und Aluminiumelektroden versehene und mit einem geeigneten Elektrolyten gefüllte Zersetzungszelle den Strom nur in einer Richtung hindurchläßt. Geht der Strom nämlich in der Richtung vom Aluminium zum Blei, so scheidet sich auf ersterem ein Oxyd von hohem elektrischen Leitungswiderstand aus. Der Strom vermag daher nur in der Richtung Blei-Aluminium die Zelle zu durchsetzen. In einer Wechselstromleitung unterdrückt daher eine derartige Zelle die eine Phasenreihe völlig und verwandelt den Wechselstrom in einen pulsierenden Gleichstrom. Sollen beide Phasen ausgenutzt werden, so muß man vier Zellen in der aus Fig. 140 ersichtlichen Art gegeneinanderschalten. Tritt der Wechselstrom bei *d* (Darstellung I) in die Kombination ein, so kann er nur über *c* nach der Nutzleistung *N* und von dort über *a b* in die Wechselstromleitung zurückfließen. Darstellung II zeigt,

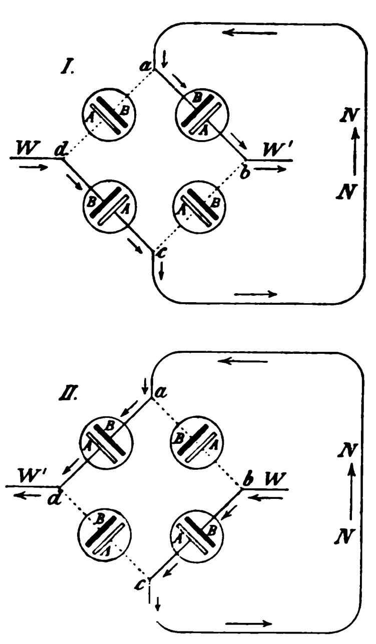


Fig. 140. Umformung von Wechselstrom in Gleichstrom mit Hilfe von elektrolytischen Zellen.

wie ein Richtungswechsel in der Wechselstromleitung WW', auf die Stromrichtung in der Nutzleitung NN ohne Einfluß ist.

Als Füllung für die Gleichrichtezellen, wie sie Grisson-Hamburg baut, kommen Lösungen von Seignettesalz, Natrium- oder Kaliumbiphosphat oder endlich am besten von doppelt-basischem Ammoniumphosphat in Frage. Welchen Elektrolyten Grisson gewählt hat, ist dem Verfasser nicht bekannt. Dem Aluminium wird zweckmäßig 5 % Zink zugesetzt. Für besonders stark und lange beanspruchte Zellen muß eine Kühlvorrichtung vorgesehen werden.

2. Zum Abschnitt IV, Seite 75 (Quecksilberunterbrecher betreffend): Ein Mittelglied zwischen den Quecksilberstrahlunterbrechern und dem Hammerunterbrecher stellen die, äußerlich dem Turbinenunterbrecher ähnlichen, ebenfalls durch einen gesonderten Elektromotor angetriebenen Unterbrecher mit Quecksilber-Gleitkontakten dar. Eine unter Petroleum rotierende und mit zwei oder mehr leitenden Segmentstücken versehene Trommel wird seitlich von metallenen Kontaktbürsten berührt. Durch die Poren der Bürsten getriebenes und von einem Pumpwerk immer wieder emporgehobenes Quecksilber macht den Kontakt zu einem sehr sicheren und innigen. Da die Segmentstücke sich nach unten verjüngen, kann die Dauer des Stromschlusses durch Heben und Senken der Trommel in weiten Grenzen verändert werden.

3. Zum Abschnitt VIII, Seite 188 (Bleiblenden betreffend): Solange es sich um einen eng begrenzten Bezirk handelt und das zur Aufnahme dienende Strahlenbündel schmal sein kann, begegnet die scharfe Reproduktion auch bei kompakten Körperteilen keinen nennenswerten Schwierigkeiten. Handelt es sich dagegen darum, nicht eine Einzelheit (etwa das Hüftgelenk), sondern ein ausgedehntes Gebilde (z. B. das ganze Becken) wiederzugeben, so sind Unterwaschungen der Schatten durch die von den Seiten her eindringenden sekundären Strahlen unvermeidlich. Man hat daher vorgeschlagen, die Aufnahme nicht auf einmal zu machen, sondern mittels einer beweglichen Bleiblende ein schmales Strahlenbündel über die Platte wandern zu lassen. Diese Einrichtung hat offenbar keinen Sinn, denn das Zugleich wird nur in ein Hintereinander aufgelöst und die vom primären Bündel direkt nicht getroffenen Partien werden durch die Sekundärstrahlung vor- bezügl. nachbelichtet. Der Effekt ist also derselbe. Günstiger gestalten sich die Verhältnisse, wenn ein zweiter Spaltschirm aus Blei sich korrespondierend zur Röhrenblende vor der Platte bewegt und die Nebenstrahlung abschneidet. Unterwaschungen können dann nur noch in der Spaltrichtung erfolgen.

Namenregister:

(Seitenzahlen.)

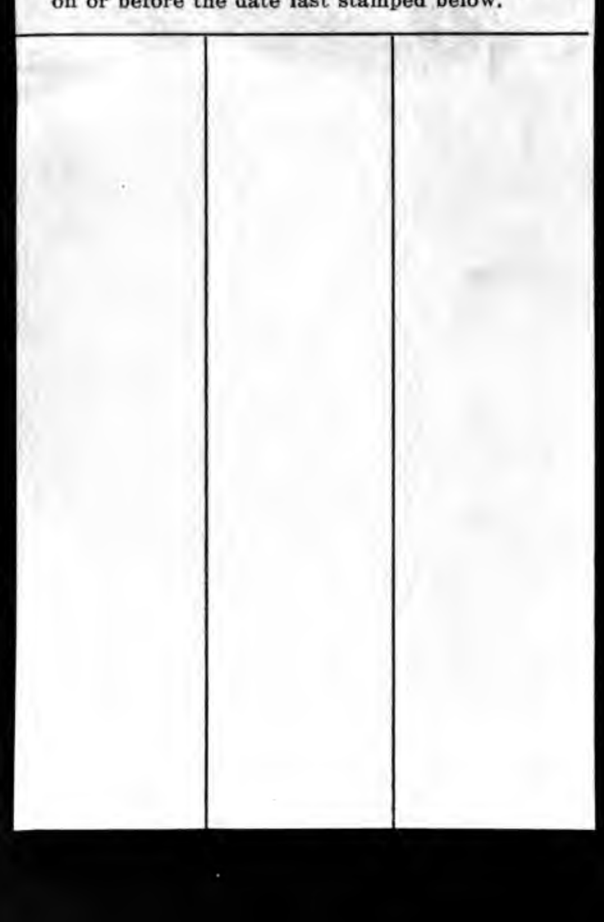
Sachregister.

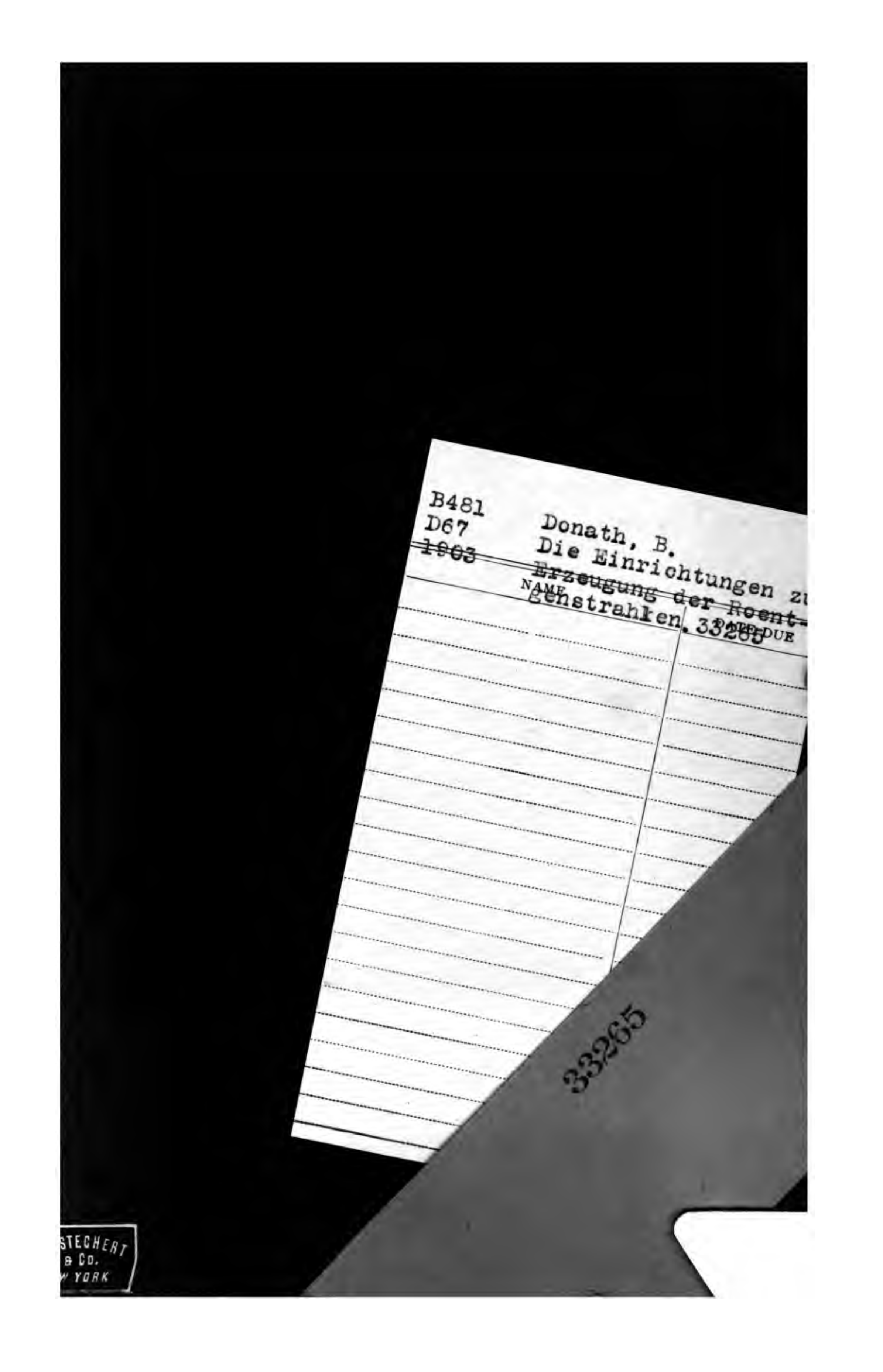
(Seitenzahlen.)

X.

Z.






B481
D67
1903
Donath, B.
Die Einrichtungen zu
Erzeugung der Roent-
genstrahlen. 33265
NAME
DATE DUE
33265
STECHERT
& CO.
NEW YORK

